



International kernekraftstatus 1994

Højerup, C.F.; Majborn, Benny; Ølgaard, Povl Lebeck

Publication date:
1995

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Højerup, C. F., Majborn, B., & Ølgaard, P. L. (1995). *International kernekraftstatus 1994*. Risø National Laboratory. Denmark. Forskningscenter Risø. Risø-R No. 802(DA)

General rights

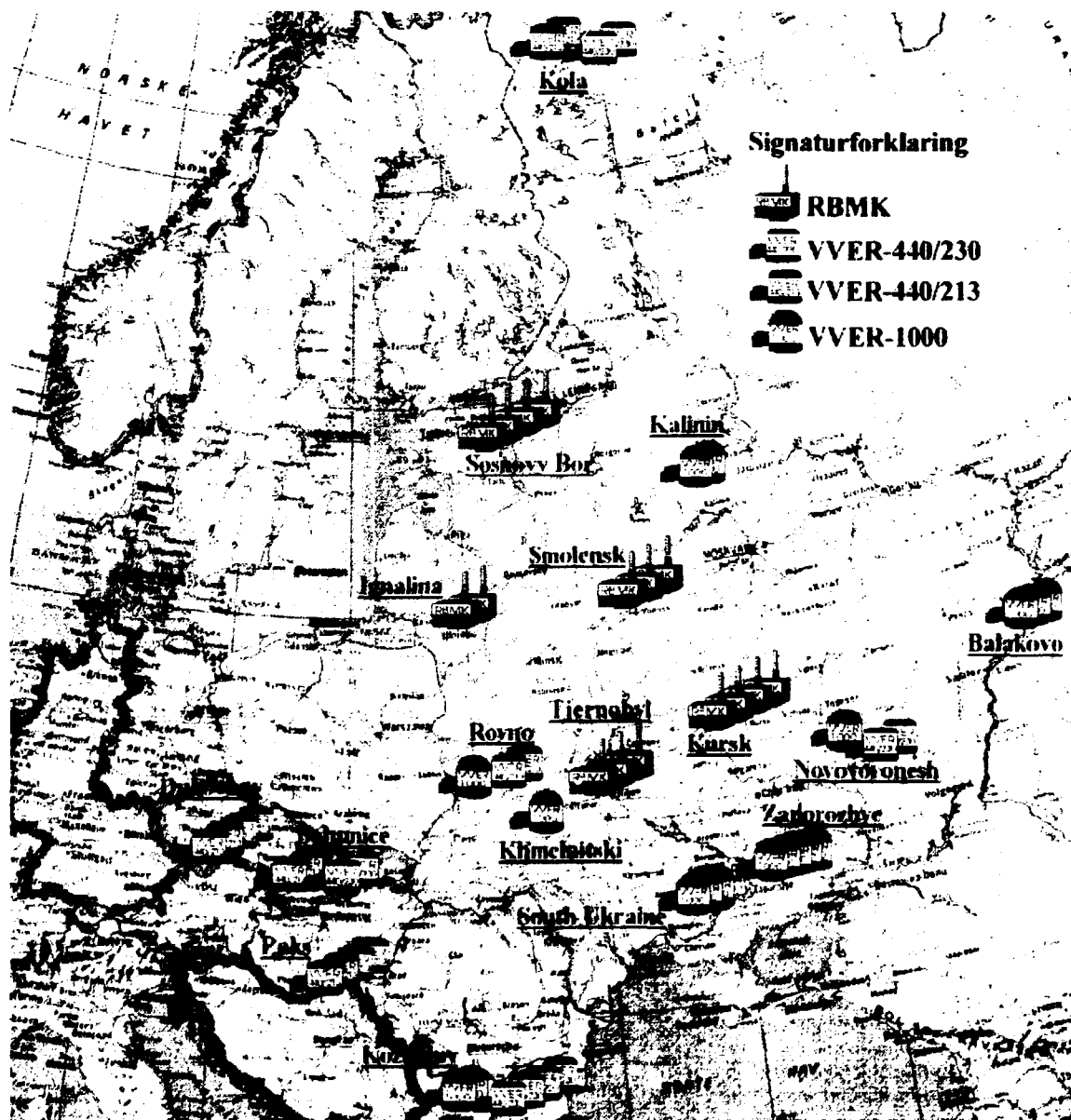
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

International kernekraftstatus 1994

Redigeret af C.F. Højerup, B. Majborn og P.L. Ølgaard



International kernekraftstatus 1994

Risø-R-802(DA)

Redigeret af C.F. Højerup, B. Majborn og P.L. Ølgaard

Resumé Denne rapport er den første i en planlagt række af årlige rapporter, der beskæftiger sig med den internationale udvikling inden for kernekraften.

Rapporten indeholder:

- statistiske oplysninger om kernekraftens el-produktion
- en gennemgang af sikkerhedsrelevante hændelser i 1994
- en gennemgang af udviklingen i Sverige, Østeuropa og resten af verden
- udviklingstendenser inden for forskellige reaktortyper
- udviklingstendenser inden for brændselskredsløbet

Forsideillustration:

Oversigt over beliggenheden af kernekraftværker af russisk design i Central- og Østeuropa (udarbejdet af Beredskabsstyrelsen).

ISBN 87-550-2062-3

ISSN 0106-2840

Grafisk Service, Risø, 1995

Indhold

Forord 4

1 Kernekraftens el-produktion 5

2 Gennemgang af større sikkerhedsrelevante hændelser i 1994 (INES) 9

3 Barsebäck-anlægget og andre svenske kernekraftværker 12

3.1 Barsebäckværket 12

3.2 Oskarshamnværket 13

3.3 Ringhalsværket 14

3.4 Forsmarkværket 14

3.5 Svensk kernekraft og fremtiden 15

4 Udviklingen i Østeuropa med hensyn til reaktorsikkerhed 15

4.1 RBMK-reaktorer 15

4.2 VVER-reaktorer 19

4.3 Skibsreaktorer 22

4.4 Støtteprogrammer for Østeuropa 24

5 Udviklingstendenser i andre lande 29

5.1 Nord- og Sydamerika 29

5.2 Asien, Afrika og Australien 31

5.3 Frankrig, Tyskland, Storbritannien 34

5.4 Øvrige europæiske lande 36

6 Udviklingstendenser inden for forskellige reaktortyper 38

6.1 Trykvandsreaktorer (PWR) 38

6.2 Kogendevandsreaktorer (BWR) 40

6.3 Hurtigreaktorer 40

6.4 Tungtvandsreaktorer 42

6.5 Gaskølede reaktorer 42

7 Udviklingstendenser inden for brændselskredsløbet 43

7.1 Uranproduktion og -pris 43

7.2 Berigning 44

7.3 Oparbejdning eller direkte deponering af brugt brændsel 44

7.4 Deponering af lav-, mellem- og højaktivt affald 46

7.5 Transmutation 47

7.6 Anvendelse af plutonium fra kernevåben 48

Forord

Den nukleare videnberedskabsgruppe blev oprettet i 1987 med det formål at bevare og udbygge en del af den viden om reaktorer m.m., som siden Risøs start var blevet opbygget, men som det kunne være vanskeligt at opretholde efter omlægningen af Risøs forskning fra nukleare til andre emner.

Gruppen består af ca. 15 personer fra Forskningscenter Risø, fra Danmarks Tekniske Universitet (DTU) og fra Beredskabsstyrelsen (BRS).

Gruppen begyndte sit arbejde med at indsamle og systematisere data for alle reaktorer inden for 150 km fra Danmarks grænser. Siden gennemførtes et studium af de såkaldte avancerede reaktortyper, d.v.s. typer, hvor sikkerheden i højere grad beror på passive egenskaber end på systemer, der kræver instrumenter, motorer, el-forsyning m.m. Gruppens arbejde i det forløbne år har især været at følge udviklingen inden for alle aspekter af kernekraften og at udarbejde nærværende rapport.

Følgende medlemmer af videnberedskabsgruppen har bidraget til rapporten (afsnit nævnt i parentes, jvf. indholdsfortegnelsen).

| | |
|------------------|-------------------------|
| Per E. Becher | Risø(6.5) |
| Knud Brodersen | Risø(7.3 og 7.4) |
| Peter B. Fynbo | Risø(4.2) |
| Karsten Haack | Risø(7.1 og 7.2) |
| Frank Højerup | Risø(5.3, 6.4 og 7.5) |
| Søren E. Jensen | Risø(6.3) |
| Torben Johansson | DTU(6.1) |
| Uffe Korsbech | DTU(2) |
| Benny Majborn | Risø(5.4) |
| Erik Nonbøl | Risø(3, 4.1 og 6.2) |
| Knud L. Thomsen | Risø(5.2) |
| Bjørn Thorlaksen | BRS(4.4) |
| Povl L. Ølgaard | DTU(1, 4.3, 5.1 og 7.6) |

Det er hensigten at opdatere rapporten hvert år. Nærværende rapport er den første og har som sådan næppe antaget den ideelle form. Forfatterne vil meget gerne modtage forslag til ændringer, uddybninger, supplerende emner etc., ligesom vi gerne besvarer skriftlige eller telefoniske henvendelser om aktuelle problemer inden for emneområdet.

1 Kernekraftens el-produktion

Den samlede, installerede effekt i verdens kernekraftværker, d.v.s. den samlede produktionskapacitet, steg kraftigt i begyndelsen af firserne. Men i slutningen af firserne faldt stigningstakten, bl.a. på grund af modstand mod kernekraftværker i nogle lande, og fordi den optimale andel af kernekraften i andre lande var ved at være nået. I begyndelsen af halvfemserne er der igen tendens til en svag stigning, forårsaget af et stigende el-behov.

Denne udvikling er demonstreret i fig. 1 og 2, som dækker udviklingen frem til udgangen af 1993. Tallene for 1994 vil først foreligge medio 1995. I fig. 1 er vist fordelingen af den installerede kernekrafteffekt inden for forskellige landområder. Effekten er angivet i GWe (Gigawatt elektrisk effekt). 1 GWe er lig med 1 million kilowatt. Til sammenligning tjener, at den samlede installerede effekt i danske kraftværker er godt 8 GWe. Procenttallene i det følgende angiver landenes andel af den samlede kernekrafteffekt i det pågældende geografiske område.

Afstanden op til den første kurve angiver den installerede effekt i Nord- og Sydamerika. Denne domineres af USA's kernekraftværker (ca. 85%), men også Canada spiller en rolle (godt 10%). Afstanden fra den første kurve op til næste kurve er den installerede effekt i de store, vesteuropæiske lande, Frankrig (knap 60%), Tyskland (knap 25%), Storbritannien (godt 10%) og Spanien. Herefter kommer de små, vesteuropæiske lande, Sverige (ca. 45%), Belgien (godt 25%), Schweiz (knap 15%), Finland (godt 10%) og Holland. Derefter følger de små, østeuropæiske lande, Bulgarien (ca. 30%), Litauen (ca. 20%), Ungarn (ca. 15%), Tjekkiet (knap 15%), Slovakiet (knap 15%) og Slovenien. Næstøverst er angivet kernekrafteffekten i SNG-landene Rusland (ca. 60%), Ukraine (ca. 40%) og Kazakstan. Øverst ses den installerede effekt i de asiatiske og afrikanske lande (Japan ca. 70%, Sydkorea knap 15%, Taiwan knap 10%, Indien, Kina, Pakistan og Sydafrika).

I fig. 2 er vist de forskellige reaktortypers andel i den samlede kernekrafteffekt. Trykvandsreaktoren (PWR) står for knap 65% og kogendevandsreaktoren (BWR) for godt 20%. De grafitmoderede, gaskølede reaktorer (GCR), tungtvandsreaktorerne (HWR) og de russiske Tjernobyl-type reaktorer (RBMK) står hver for ca. 5%.

Det ses, at de såkaldte letvandsreaktorer, PWR og BWR, dominerer billedet.

I fig. 3 er vist den andel, kernekraftværkernes el-produktion udgør af en række landes samlede el-forbrug. Denne procentdel varierer meget fra land til land. Højest ligger Litauen og Frankrig. Litauens høje andel skyldes, at Ignalínværket blev opført til at bidrage til el-forbruget ikke alene i Litauen, men også i Letland, Hviderusland m.v. Kernekraftens store andel i Frankrigs el-forsyning skyldes ønsket om at reducere landets afhængighed af importeret brændsel og nok også ønsket om at holde landets nukleare industri i gang.

Udover de i fig. 3 nævnte lande kan det oplyses, at en række østeuropæiske lande får en væsentlig del af deres el-forbrug fra kernekraftværker. Andelen var i 1993 for Slovakiet ca. 50%, for Ungarn ca. 45%, for Bulgarien og Slovenien ca. 35% og for Tjekkiet ca. 25%. I Østasien er kernekraftens andel i Sydkorea ca. 45% og i Taiwan ca. 35%.

Kernekraftens optimale andel i et lands el-forsyning afhænger af landets el-forbrugsmønster. Hvis landet har mange energiintensive industrier, der kører i døgndrift, er den optimale andel højere end, hvis dette ikke er tilfældet. Sædvanligvis antages den økonomisk optimale andel at ligge på 35 - 50%.

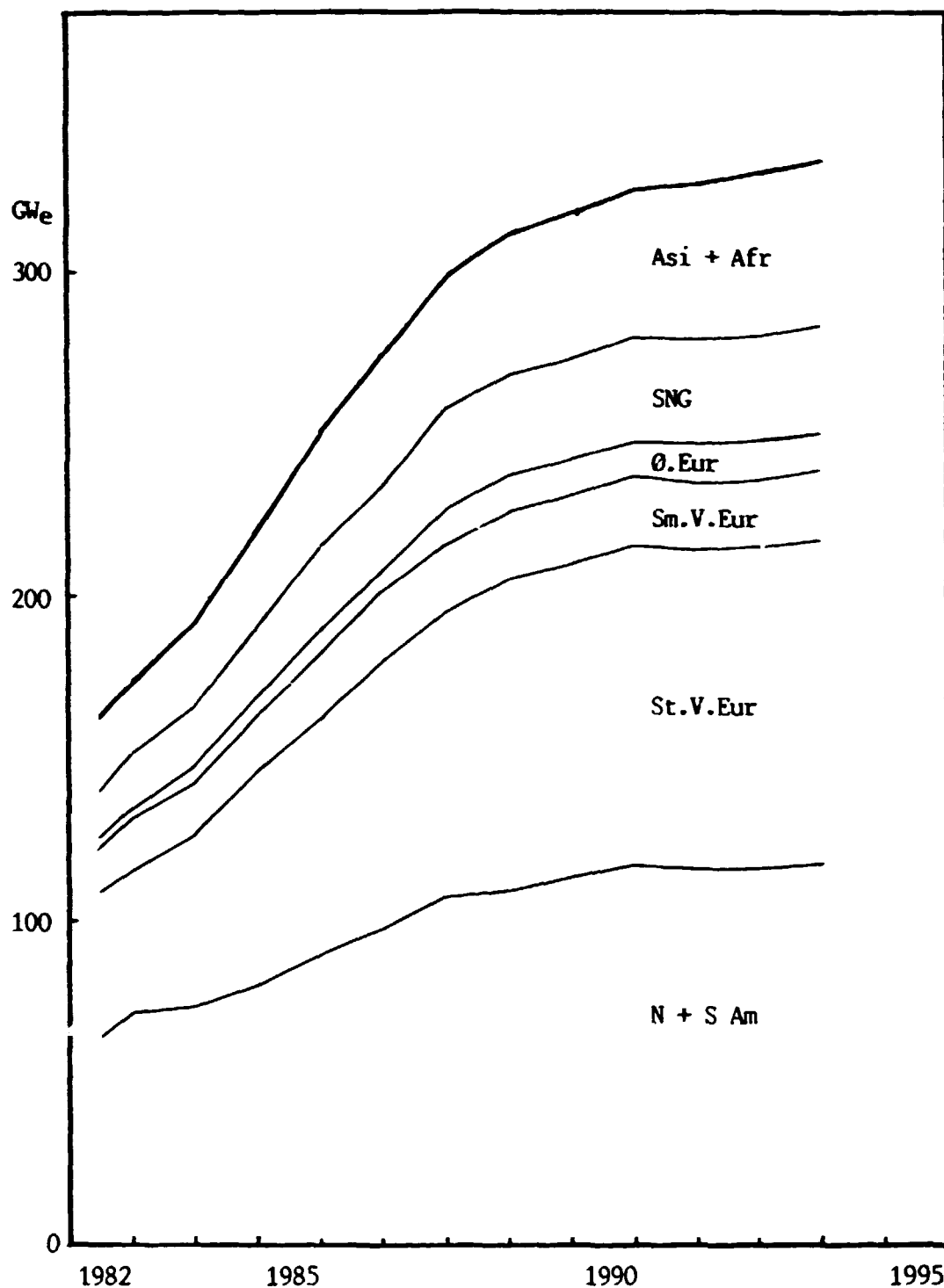


Fig. 1. Udviklingen i den installerede effekt for verdens kernekraftværker, opdelt efter geografiske områder. Den elektriske effekt er givet i GWe (1 GW = 1 mill. kW). N+S Am står for Nord- og Sydamerika. St.V.Eur står for store vesteuropæiske lande, Sm.V.Eur står for små vesteuropæiske lande. Ø.Eur står for østeuropæiske lande. SNG står for Rusland, Ukraine og Kazakstan. Asi.+Afr. står for Asien og Afrika.

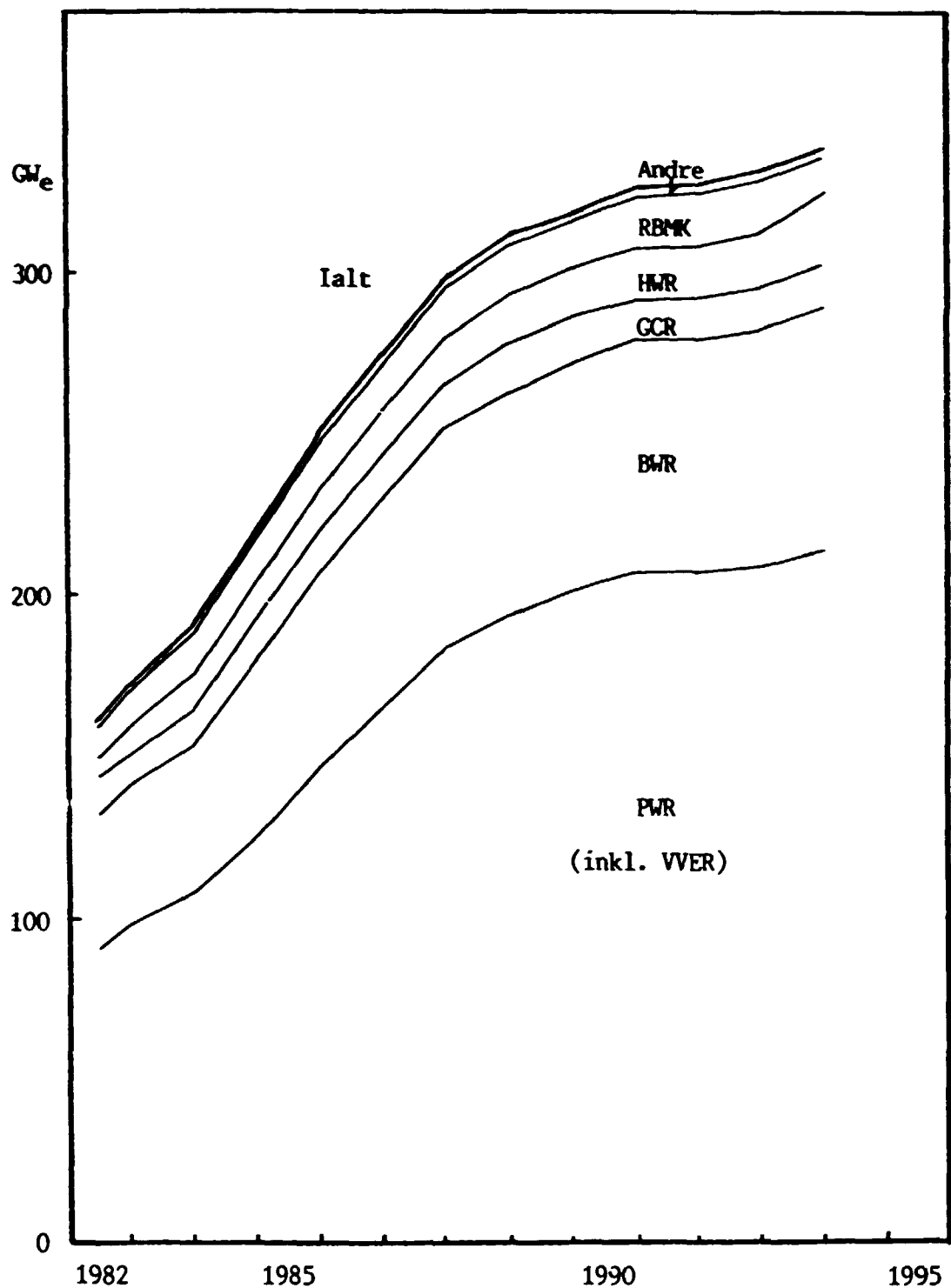


Fig. 2. Udviklingen i den installerede effekt for verdens kernekraftværker, opdelt efter reaktortyper. Den elektriske effekt er givet i GWe (1 GW = 1 mill. kW). PWR er trykvandsreaktorer. BWR er kogendevandsreaktorer. GCR er gaskølede, grafitreaktorer. HWR er tungtvandsreaktorer. RBMK er Tjernohyl-type-reaktorer. "Andre" er andre reaktortyper.

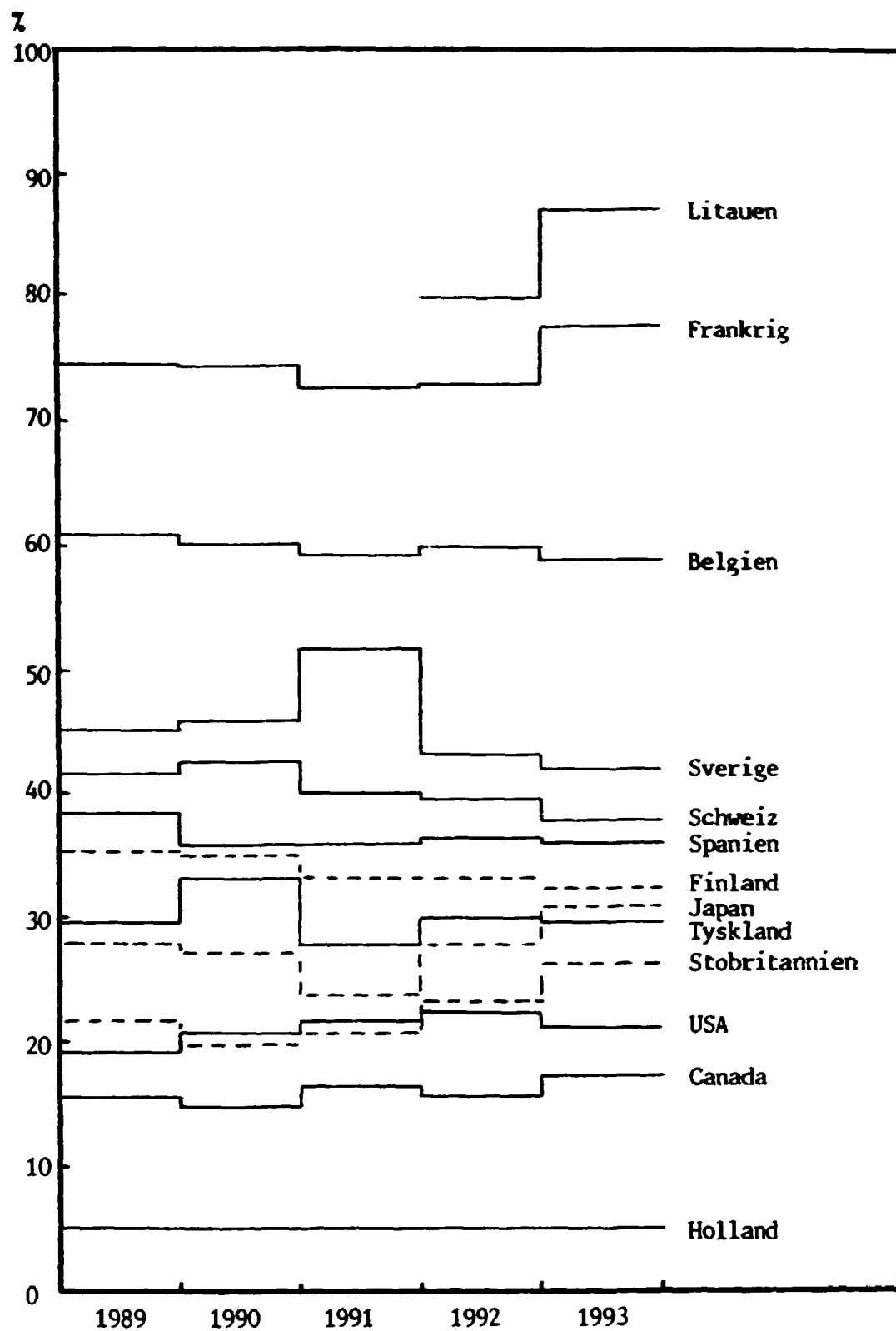


Fig. 3. Procentdelen af forskellige landes el-forbrug, produceret ved hjælp af kernekraftværker.

Der blev i 1993 sat 9 kernekraftenheder i drift med en samlet effekt på ca. 9 GWe. Værkerne er beliggende i Japan, Frankrig, USA, Rusland, Kina, og Canada.

Ved udgangen af 1993 var i alt 55 kernekraftenheder med en samlet effekt på knap 45 GWe under bygning. Heraf blev bygning af 6 enheder med en samlet effekt på knap 5 GWe påbegyndt i 1993 i Sydkorea, Japan, Rusland og Pakistan.

Der blev ikke lukket noget kernekraftværk i 1993, men i Rusland blev opførelsen af 16 kernekraftenheder indstillet, permanent eller midlertidigt.

Ved udgangen af 1993 var det samlede antal driftsår for verdens kernekraftværker nået op på 6900 reaktorår.

2 Gennemgang af større sikkerhedsrelevante hændelser i 1994 (INES)

Gennem mange år måtte sagkyndige inden for kernekraft-området konstatere, at det var vanskeligt over for ikke-sagkyndige at beskrive den sikkerhedsmæssige betydning af de hændelser, uheld og ulykker, der skete på kernekraftværker m.m. Resultatet var ofte, at hændelser, der ud fra en teknisk, faglig vurdering havde ringe sikkerhedsmæssig betydning, af omverdenen blev opfattet som lige så alvorlige og betydningsfulde som uheld, der havde haft reel sikkerhedsmæssig betydning - f.eks. ved, at et sikkerhedssystem i et kernekraftværk i en periode ikke havde været funktionsdueligt.

På foranledning af blandt andet det Internationale Atomenergi Agentur (IAEA) i Wien blev der derfor udarbejdet en international "Uheldsskala", der dækker fra klasse 0 til 7. Hændelser, der ikke har haft nogen sikkerhedsmæssig betydning, rubriceres i klasse 0. Meget alvorlige ulykker med udslip af store mængder radioaktivitet hører til klasse 7. Havariet på Tjernobyl kraftværket i 1986 var således i klasse 7, og der har hverken før eller siden været andre klasse 7 uheld.

Efterhånden har alle betydende lande (på nær USA) tilsluttet sig den pågældende opdeling i klasser, som kaldes "The International Nuclear Event Scale" eller blot INES. Der findes en omfattende beskrivelse af, hvorledes hændelser eller uheld på nukleare anlæg skal indplaceres på skalaen. Sædvanligvis er proceduren, at man på det anlæg, hvor hændelsen har fundet sted, til IAEA i Wien indsender en beskrivelse af det skete samt en angivelse af en foreløbig uheldsklasse. Sikkerhedsmyndighederne i det pågældende land kan efterfølgende ændre på klassificeringen, hvis man finder en anden klasse mere korrekt. Der sker jævnligt sådanne justeringer, både i opad- og i nedadgående retning. Fra IAEA sendes der snarest oplysning om indregistreringerne til alle nukleare sikkerhedsmyndigheder over hele verden.

I sammenfattet form kan de enkelte klasser karakteriseres på følgende måde:

Klasse 7 [Katastrofe]: Her skal der være sket et omfattende udslip af radioaktivitet, som resulterer i en udbredt forurening, der senere kan give helseskader i form af kræft. Desuden dækker klassen udslip med risiko for så store strålingsdoser til mennesker, at strålingssyge kan forekomme.

Tjernobyl-havariet i 1986 hører til i klasse 7.

Klasse 6 [Alvorligt uheld eller ulykke]: Her skal der være sket et mellemstort udslip af radioaktivitet fra en skadet reaktorkerne. Hvis beredskabsforanstaltninger har været indført i tide, kan man formentlig undgå, at et klasse 6 uheld resulterer i strålingssyge i omegnen.

Alvorlige nukleare uheld i klasse 6 er aldrig indtruffet.

Klasse 5 [Uheld eller ulykke med risiko for omgivelserne]: Klassen dækker bl.a. uheld med udslip af mere begrænsede mængder radioaktivitet, der dog nødvendiggør gennemførelse af dele af en beredskabsplan - f.eks. "Gå inden døre" - og efterfølgende begrænsninger for landbrugsproduktionen. Branden i den engelske Windscale-reaktor i 1957 er et eksempel på et klasse 5 uheld. Havariet af reaktor 2 på Tremileven i Pennsylvania i 1979 er også et eksempel på klasse 5. Her blev der frigivet betydelige mængder radioaktivitet inde i den lufttætte bygning om reaktoren. Der var således en vis risiko for, at betydningsfulde mængder radioaktivitet kunne være sluppet ud, hvilket dog ikke skete.

Klasse 4 [Uheld med skader, der overvejende berører selve anlægget]: Typisk kan et klasse 4 uheld vedrøre en mindre beskadigelse af reaktorkernen. På værket kan en lille del af personalet udsættes for middelstore strålingsdoser, der dog ikke giver strålingssyge. Evt. kan et klasse 4 uheld resultere i lokale begrænsninger for landbrugsproduktionen.

I 1980 skete der på Saint Laurent-værket i Frankrig et klasse 4 uheld med mindre skader på en reaktorkerne.

Klasse 3 [Alvorlig hændelse]: Mange forskellige slags hændelser kan rubriceres i klasse 3. Et eksempel kan være udslip til omgivelserne af små mængder radioaktivitet, der kan give strålingsdoser lidt større end dem, der fås ved en flyrejse mellem USA og Europa. Der kan også være tale om svigt af et sikkerhedssystem, som kunne have ført til en alvorlig situation, hvis der også samtidigt var forekommet andre fejl.

En klasse 3 hændelse forekom på det spanske kernekraftværk Vandellós i 1989. En brand havde til følge, at sikkerhedsudstyr i en periode var ubrugeligt.

Klasse 2 [Hændelse]: Under klasse 2 rubriceres tekniske fejl og forstyrrelser, der ikke direkte påvirker et anlægs sikkerhed, men som peger på, at udstyr eller rutiner skal ændres, hvis det krævede sikkerhedsniveau skal opretholdes.

Som et eksempel på en klasse 2 hændelse kan nævnes de problemer med tilstopningen af sugefiltrene på nødkølesystemet, der konstateredes på Barsebäck-værket i 1993. Her måtte man foretage en ombygning af udstyret på fem svenske kernekraftenheder.

Klasse 1 [Anomali]: Herunder rubriceres hændelser, som ikke udgør nogen sikkerhedsmæssig risiko, men som peger på mangler eller menneskelige fejl, som skal rettes.

Klasse 0: Det drejer sig om hændelser, der ikke har haft nogen sikkerhedsmæssig betydning - og ikke ville kunne have fået det, fordi alt sikkerhedsudstyr fungerede korrekt. Alligevel rapporteres mange sådanne hændelser til IAEA. Det kan f. eks. være hændelser, der har været meget omtalt i nyhedsmedierne, og for hvilke der derfor er behov for en nærmere teknisk gennemgang.

Der er i 1994 registreret 8 hændelser i klasse 2 og ingen i højere klasse. Klasse 2 hændelserne omfatter følgende:

D. 12. januar 1994 konstateredes radioaktiv forurening inde i en hjælpebygning på den ukrainske kernekraftenhed Zaporozhe-4. En stopventil i rensningssystemet for primært kølevand var blevet utæt, og radioaktivt vand (1,85 MBq/l) sivede ud og nåede den pågældende bygning. Der skete intet udslip af radioaktivitet til omgivelserne, og personalet blev ikke udsat for utilsigtet bestråling.

D. 29. januar 1994 skulle den franske kernekraftenhed Bugey-5 sættes i drift efter at have været nedlukket siden 21. august 1993. Ved en fejl blev vandstanden i reaktortanken indstillet til et for lavt niveau. Det bevirkede en svingende vandstrøm gennem kølepumperne og en svingende pumpeeffekt i otte timer. Herefter fik personalet hævet vandstanden, og pumperne arbejdede korrekt.

Hændelsen havde ingen direkte følger for anlæggets sikkerhed eller for miljøet, og den blev oprindeligt henført til klasse 1. Sikkerhedsmyndighederne opgraderede imidlertid hændelsen til klasse 2, idet den både indebar en overtrædelse af reglerne og forekomsten af dårlige driftshåndbøger.

D. 3. marts 1994 var man i færd med at vedligeholde den russiske kernekraftenhed Kola-2, da der opstod en lækage i en svejsesøm på et mindre rør, der fører vand til reaktortanken. Vand fra det primære system lækkede i halvanden time ud i et aflukket rum. Ingen andre rum blev påvirket ved uheldet, og udslippet af radioaktivitet til omgivelserne via ventilationssystem og skorsten holdt sig inden for de tilladte grænser.

D. 31. marts 1994 skete der en eksplosion i et lokale ved den nedlagte franske hurtigreaktor Rapsodie, som er under demontering. En arbejder blev dræbt ved eksplosionen, og fire andre blev alvorligt skadede kørt til hospitalet. Driften af Rapsodie blev indstillet for 10 år siden. Eksplosionen skyldtes formentlig, at der var dannet og opsamlet brint i forbindelse med rensning med alkohol af let kontamineret natrium (kølemiddelet for Rapsodie). Chockbølgen fra eksplosionen fik en 300 m² betonplade til at vælte, og vinduer og døre i et nabolaboratorium blev blæst i stykker. Selve Rapsodie-reaktoren blev ikke skadet. Der blev målt en svag forurening af jorden på eksplosionsstedet (10 Bq cæsium-137/cm²). Der skete ikke udslip til omgivelserne, og personalet blev ikke udsat for radioaktivitet.

D. 6. april 1994 observerede operatørerne af enhed 1 på kernekraftværket "Syd-Ukraine" en forkert visning af vandstanden i en dampgenerator. Driften fortsatte i 8 timer, uden at man gik i gang med at rette fejlen. Først 14 timer efter fejlsens opståen var den udbedret. Hændelsen med den fejlagtige visning blev først klassificeret til klasse 1, men på grund af, at der gik 8 timer, inden personalet påbegyndte en reparation, blev hændelsen senere opgraderet til klasse 2.

D. 3. juni 1994 var man ved at reducere effekten på den franske kernekraftenhed Tricastin-4, da man opdagede, at nogle kontrolstave forblev siddende i kernen på et forkert niveau. Forkert placerede kontrolstave kan gøre det vanskeligt at opnå en jævn effektfordeling i kernen, og stavene kan evt. ikke udnyttes fuldt ud ved et hurtig-stop af reaktoren. Kontrollamper viste, at der var noget galt med de pågældende stave, men personalet reagerede ikke hurtigt herpå.

Ved en efterfølgende gennemgang af hændelsen konstateredes, at lignende forhold var indtruffet 261 gange tidligere i forbindelse med lastfølgeoperationer. Personalet havde ikke været opmærksom på, at der var tale om overtrædelse af driftsreglerne. I fortsættelse heraf blev det opdaget, at noget lignende var indtruffet på andre reaktorer af samme model (Tricastin-3, Blayais-4 og Gravelines-5). Da problemet var opstået som følge af lastfølgedriften, inddrog myndighederne anlæggets tilladelse til den type drift. Desuden blev ejeren af de franske kernekraftværker, EDF, anmodet om at fremkomme med en redegørelse for, hvorvidt anlæg af den pågældende type var egnet til lastfølgedrift - og om andre anlæg havde haft tilsvarende erfaringer.

Ved lastfølgedrift skal værkets el-produktion følge "døgnrytmen" i elforbruget med højt forbrug i dag- og aften timerne, og med lavt forbrug om natten.

D. 3. oktober 1994 stoppede den svenske kernekraftenhed Ringhals-2 automatisk på grund af en fejl ved en kondensatpumpe. Pumpen blev kørt efter igangsæt igen, og den efterfølgende tid blev årsagen til stoppet analyseret nærmere. Det blev herunder konstateret, at trykket i det sekundære kredsløb i en kort periode efter d. 3. oktober havde overskredet det maksimalt tilladte niveau. Trykket havde dog holdt sig under det niveau, som det sekundære system er konstrueret til. Det viste sig, at sikkerhedsventilerne i det sekundære system ikke havde været indstillet korrekt.

Det sekundære system har ikke direkte forbindelse med reaktoren, men skal via dampgeneratorerne modtage varmen fra det primære system og levere damp til

turbinerne.

D. 10. december 1994 skete der et mindre tab-af-kølemiddel uheld på den canadiske kernekraftenhed Pickering-1. En ventil i det primære system havde svigtet. Anlæggets sikkerhedssystemer trådte i funktion, stoppede reaktoren og sørgede for nødkøling. Det var det første tab-af-kølemiddel uheld på en reaktor af den canadiske CANDU-type. Der skete ikke udslip af radioaktivitet til omgivelserne, og personalet blev ikke udsat for utilsigtede strålingsdoser.

3 Barsebäck-anlægget og andre svenske kernekraftværker

I Sverige findes 12 kernekraftenheder fordelt på 4 værker: Barsebäckværket i Skåne med 2 enheder af kogendevandsreaktortypen (BWR), Oskarshamnværket i Østsmåland med 3 enheder af typen BWR, Ringhalsværket i Västergötaland med 1 enhed af typen BWR og 3 enheder af trykvandsreaktortypen (PWR) og endelig Forsmarkværket nord for Stockholm med 3 enheder af typen BWR.

Kogendevandsreaktorerne er alle leveret af det svenske firma ABB Atom (tidligere ASEA ATOM), mens trykvandsreaktorerne er leveret af det amerikanske firma Westinghouse.

3.1 Barsebäckværket

Barsebäckværket, ca. 20 km øst for København, har pr. 1/1-94 skiftet navn til Barsebäck Kraft AB. Samtidig er der sket en omorganisering på værket for at fremme sikkerheden og øge effektiviteten. Værket beskæftiger 380 medarbejdere og producerer ca. 9 mia. kWh årligt. Produktionsprisen har i 1994 været 14 svenske øre pr. kWh, hvilket kan sammenlignes med 35 øre/kWh for et gasfyrte kraftværk. Barsebäck Krafts 2 BWR enheder, hver på 615 MWe, blev taget i brug i henholdsvis 1975 og 1977 og er således ved at være 20 år gamle. Mange komponenter er imidlertid blevet udskiftet i årenes løb og erstattet af mere moderne teknik. Dette gælder f.eks. halvdelen af alle el-komponenter på værket. Nye sikkerhedsforbedrende foranstaltninger er også blevet implementeret gennem årene, f.eks. radioaktivitetsfiltret FILTRA i 1985, og man kontrollerer hele tiden ældning af komponenter gennem omfattende test- og vedligeholdelsesprocedurer.

Ved det årlige eftersyn af de 2 enheder blev der ikke fundet uregelmæssigheder af betydning for sikkerheden. Også den store tæthedsprøve af de 2 reaktorindeslutninger forløb i 1994 tilfredsstillende i modsætning til i 1993, hvor rustangreb som følge af dårlig beton i den ene indeslutning gav anledning til omfattende ekstra undersøgelser og forlængelse af nedlukningsperioden.

I Sverige er det gennemsnitlige, ikke tilsigtede antal reaktorstop 0,4 pr. år pr. reaktor mod det internationale gennemsnit på 1,0. Dog har Barsebäck Kraft haft 4 reaktorstop i 1994.

Det første drejede sig om en lækage i en ventil tilhørende nødkølesystemet. Det andet stop var forårsaget af en turbinefejl, det tredje stop skyldtes løsgår og vandmænd ved indløbet til kølekanalerne i Øresund, og årsagen til det fjerde stop var forkert dosering af brint i reaktorens kølesystem. Brint tilsættes for at forhindre rust. Ingen af hændelserne indebar risiko for omgivelserne eller truede sikkerheden på værket, og i alle 4 tilfælde stoppede det automatiske sikkerhedssystem reaktorerne. Dog krævede lækagen i ventilen til nødkølesystemet indberetning til

INES, som en klasse 1 hændelse. (INES-systemet er omtalt i afsnit 2). Tidligere på året var et svigt i smørepumperne til nødkølepumperne blevet klassificeret som en klasse 1 hændelse. Opstarten på enhed 1 efter den årlige nedlukning foregik fejlagtigt med den automatiske tvangsnedblæsning udkoblet - også en klasse 1 hændelse.

Skønt disse driftsforstyrrelser ikke har udgjort nogen risiko for sikkerheden, tager værket hændelserne meget alvorligt og foretager skridt for at undgå gentagelser.

Begrebet MTO betyder samspillet mellem Menneske, Teknik og Organisation. Efter meget få MTO-relaterede hændelser i 80'erne, er der i de senere år sket en stigning, som værkets ledelse forsøger at finde årsagen til. En del af fejlene kan skyldes de meget omfattende servicearbejder, der er blevet foretaget på anlægget i de senere år, samt den nyligt gennemførte omorganisering.

For at reducere de MTO-relaterede fejl har værket indledt en kampagne for større opmærksomhed og forslag til forbedrede rutiner. Kampagnen kaldes STARK (Stop, Tænk, Agér, Reflekter og Kommuniker) og skal sammen med andre foranstaltninger medvirke til at styrke sikkerheden hos Barsebäck Kraft.

I 1994 har værket opstillet 17 målestationer til måling af radioaktiviteten inden for en radius af 10 km fra kraftværket, 12 stationer på land og 5 stationer placeret på bøjer i Øresund. Formålet med målestationerne er først og fremmest at kontrollere radioaktiviteten i nærområdet. Desuden skal de supplere den kontinuerlige måling af radioaktiviteten i den luft, der sendes ud fra værket. Endelig kan stationerne også anvendes ved uheldssituationer. Tidligere baserede man sig udelukkende på mobilt måleudstyr.

3.2 Oskarshamnværket

Oskarshamnværket ligger ca. 80 km nord for Kalmar. Dets 3 BWR-enheder på 465 MWe, 630 MWe og 1205 MWe blev taget i brug i henholdsvis 1972, 1975 og 1985. Enhed nr. 1, som er Sveriges ældste kernekraftværk, har ligget stille siden august 1992, hvor en konstruktionsfejl af et indløbsfilter til nødkølepumperne blev konstateret. Denne fejl kunne under uheldige omstændigheder føre til delvis lukning af filtrene og en reduceret virkning af nødkølesystemet. Den samme fejl blev fundet på Oskarshamn-2, på de 2 Barsebäckreaktorer samt på Ringhals-1, altså de 5 ældste BWR-enheder. Alle 5 reaktorer blev standset af de svenske nukleare myndigheder SKI i september 1992 og lå stille i ca. 4 måneder. Herefter fik Oskarshamn-2, Barsebäck-1 og -2 samt Ringhals-1 lov til at starte igen efter at have etableret alternative vandforsyningsmuligheder til nødkølesystemet.

Driftstilladelsen gjaldt dog kun til næste planmæssige nedlukning, hvorefter mineraluldsisoleringen skulle udskiftes med metalisolering, ligesom konstruktionen af indløbsfiltrene til nødkølesystemet skulle ændres.

For Oskarshamn-1 var det imidlertid ikke muligt at etablere en alternativ vandforsyning til nødkølesystemet frem til næste planmæssige nedlukning, hvorfor man besluttede straks at udskifte mineralulden med metalisolering. Under dette arbejde opdagede man revner i visse rørbøjninger forårsaget af spændingskorrosion, ligesom man også fandt revner i fødevandsrør inde i reaktortanken. Man besluttede herefter at foretage en gennemgribende undersøgelse af reaktortanken og tilhørende interne komponenter, det såkaldte Fenix projekt ("Fortsat energiproduktion i et eksisterende anlæg"), som nu er ved at være afsluttet.

Resultatet har været en gennemgribende modernisering af anlægget, som har vist, at selv et 20 år gammelt anlæg kan bringes til at opfylde nutidens sikkerhedskrav, ligesom projektet har demonstreret, at det har været muligt at reducere

strålingen fra en 20 år gammel reaktortank så meget, at arbejder inde i tanken kan udføres på en sundhedsmæssig forsvarlig måde.

De 2 andre enheder har kørt stabilt i det forløbne år uden nævneværdige problemer; dog udløstes ved en fejl brandalarmen i turbinebygningen på enhed 3, og det tilhørende sprinklersystem blev automatisk aktiveret. Reaktoren lukkede ned, som den skulle og var kort tid efter i drift igen.

3.3 Ringhalsværket

Ringhalsværket ligger ca. 60 km syd for Göteborg og ca. 65 km øst for Læsø. Enhed nr. 1, en BWR-reaktor på 825 MWe, blev taget i brug i 1976, enhed nr. 2, en PWR-reaktor på 915 MWe blev taget i brug i 1975, mens de 2 sidste PWR-enheder, hver på 960 MWe blev taget i brug i henholdsvis 1981 og 1983.

Efter at mineraluldisoleringen på enhed 1 blev udskiftet med metalisolering i slutningen af 1992 har reaktoren haft stabil drift kun afbrudt af de planlagte nedlukninger.

På Ringhals-2 blev der under den planlagte nedlukning i foråret 1992 konstateret en revnedannelse i en svejsefuge, der hørte til en kontrolstav gennemførelse i tanklåget. Da det var første gang en revne af denne type blev fundet i tanklåget til en PWR-reaktor, førte det til omfattende undersøgelser af årsagen. Resultaterne viste, at revnen skyldtes ukorrekt varmebehandling under fabrikationen af tanklåget.

Da skaden var udbedret, startede enhed 2 op igen ved årsskiftet 1992/93. Imidlertid indtraf der i oktober 1994 en hændelse, der blev karakteriseret som en klasse 2 hændelse. Det drejede sig om en sikkerhedsventil på en dampledning, der var indstillet til et for højt åbningstryk. Hændelsen havde ingen konsekvenser for omgivelserne eller anlægget, men førte til ændrede procedurer ved indstilling og afprøvning af åbningstryk for sikkerhedsventiler.

Enhed 3 og 4 har kørt stabilt i det forløbne år og har kun haft planmæssige nedlukninger.

3.4 Forsmarkværket

Forsmarkværket ligger ca. 100 km nord for Stockholm og består af tre BWR-enheder. Enhed 1 og 2 begge på 1000 MWe blev taget i brug i 1981, mens enhed 3 på 1200 MWe blev sat i drift i 1985. De tre enheder har kørt stabilt i 1994 uden særlige problemer. SKI har foretaget en såkaldt tema-inspektion omkring værkets kvalitetssikringssystem og har kun haft få indvendinger og forslag til forbedringer.

Endelig har værket været meget engageret i opbygning af en organisation til udveksling af erfaringer blandt de 9 svenske BWR-enheder, ERFATOM. Erfaringer fra de seneste års hændelser på svenske BWR-reaktorer har vist, at det eksisterende informationsudvekslingssystem ikke altid har fungeret tilfredsstillende. Formålet med ERFATOM er:

- at reducere muligheden for gentagelse af en indtruffen sikkerhedsmæssig uønsket hændelse
- at udbrede den seneste know-how, forståelse og rekommandationer inden for BWR-teknologi
- at sikre at vigtige design-basis data er tilgængelige

Systemet er blevet implementeret på samtlige BWR-enheder i 1994.

3.5 Svensk kernekraft og fremtiden

De tre rigsdagspartier, Socialdemokratiet, Folkepartiet og Centerpartiet blev i 1991 enige om strukturen af den fremtidige svenske energiforsyning. Denne aftale dannede også grundlag for den borgerlige regerings deklaration efter valget i 1991.

Kort tid efter, at Socialdemokratiet i september 1994 overtog regeringsmagten efter rigsdagsvalget, udtalte statsminister Ingvar Carlsson, at han ville fastholde trepartiaftalen fra 1991. I aftalen lægges der vægt på koblingen mellem tidligere afviklingsbeslutninger og hensynet til beskæftigelse og velfærd:

"Ændring af energisystemet må udover de sikkerhedsmæssige krav ske med hensyn til behovet for elektrisk kraft, for opretholdelse af beskæftigelse og velfærd. Hvornår kernekraftafviklingen skal indledes, og i hvilken takt den skal ske, afgøres af resultaterne af elbesparelserne, tilførslen fra miljøacceptabel kraftproduktion og mulighederne for at bibeholde internationale konkurrencedygtige elpriser. Partierne er enige om disse udgangspunkter".

Endelig vil regeringen nedsætte en energikommission, der den 1. september 1995 skal komme med forslag til ændring af energisystemet, herunder hvor stor del af elforsyningen kernekraften skal udgøre i fremtiden.

4 Udviklingen i Østeuropa med hensyn til reaktorsikkerhed

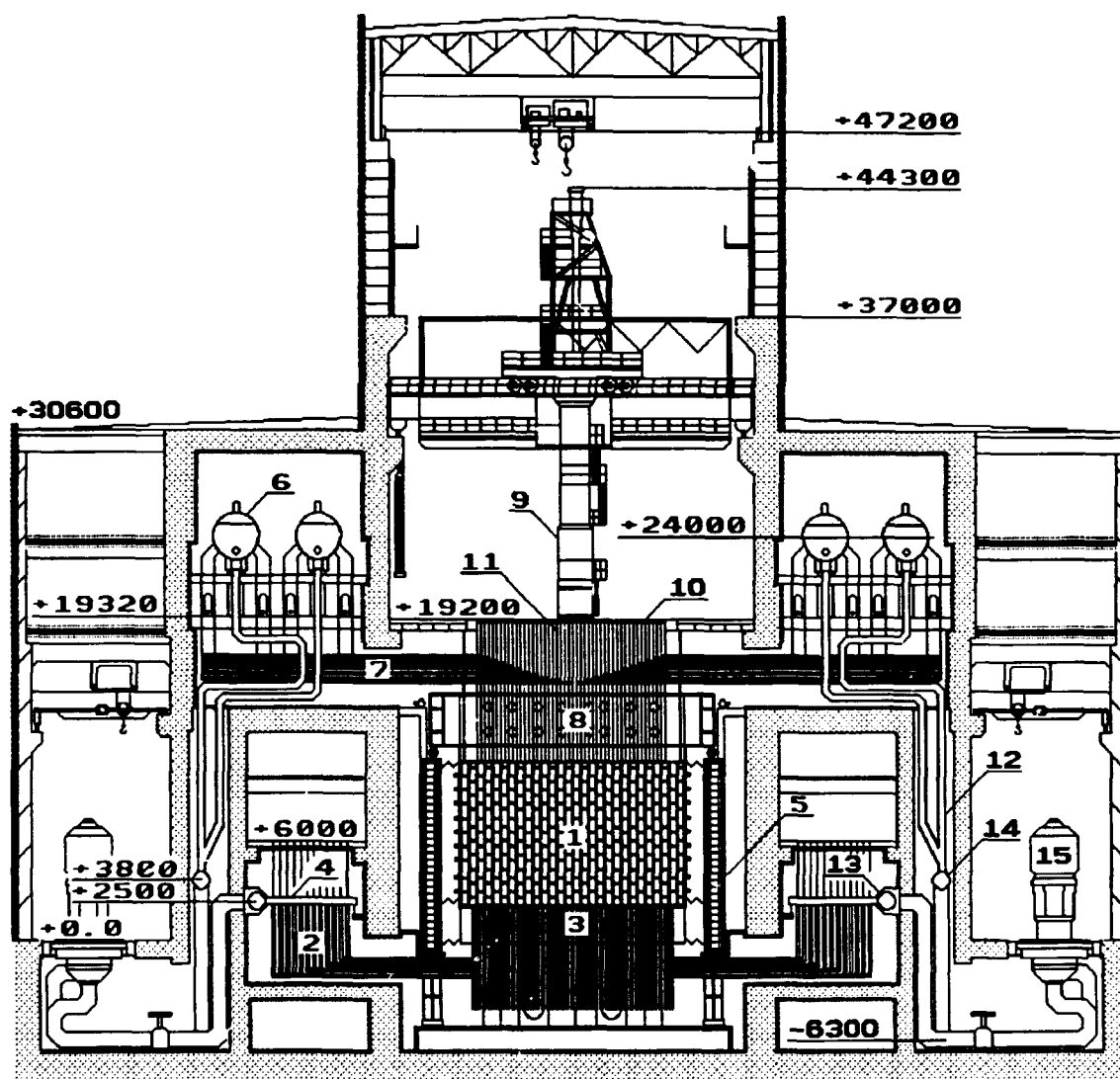
4.1 RBMK-reaktorer

Den vandkølede grafitmodererede kanaltypereaktor af russisk design, RBMK (Reactor Bolshoj Moshnost'i Kanal'nogo), findes i drift i Rusland, Ukraine og Litauen fordelt på 15 enheder. Tabel 1 viser enhederne, deres placering og afstand til Danmark.

Tabel 1. Fordeling af RBMK-reaktorer

| Værk | Antal enheder | Land | Afstand til DK |
|-----------|---------------|---------|----------------|
| Leningrad | 4 | Rusland | 1050 km |
| Kursk | 4 | Rusland | 1450 km |
| Smolensk | 3 | Rusland | 1100 km |
| Tjernobyl | 2* | Ukraine | 1100 km |
| Ignalina | 2 | Litauen | 700 km |

*) Tjernobyl-1 og -3 er i drift. Tjernobyl-2 har været nedlukket siden oktober 1991 p.g.a. en turbinebrand.



- | | | | |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------|--|
| 1 - Reaktorkerne | 5 - Biologisk afskærmning | 9 - Brændselskiftesmaskine | 13 - Udløb fra hovedcirkulationspumpe |
| 2 - Indløb for kølevand | 6 - Dampseparator | 10 - Flytbar gulv | 14 - Indløb til hovedcirkulationspumpe |
| 3 - Biologisk afskærmning | 7 - Udløb for kølevand | 11 - Brændselskænsler | 15 - Hovedcirkulationspumpe |
| 4 - Fordelingsmanifold | 8 - Biologisk afskærmning | 12 - Returløb for kølevand | |

Figur 4. Vertikalt tværsnit af en RBMK-reaktor.

Leningradværket

Leningradværket ligger ca. 70 km vest for Skt. Petersborg og består af 4 RBMK-enheder på hver 1000 MWe. De to første enheder, hørende til 1. generation af RBMK-reaktorer, blev sat i drift i 1973 og 1975, mens enhederne 3 og 4, hørende til 2. generation af RBMK-reaktorer, blev sat i drift i 1979 og 1981.

Efter Tjernobyl-katastrofen i 1986 blev RBMK-reaktorenes sikkerhedstilstand draget i tvivl, ligesom mange driftsprocedurer for reaktoroperatørerne blev taget

op til revision. Enhed 1 på Leningradværket var den første RBMK-reaktor, der blev sat i drift, og den har således været prototype for senere RBMK-reaktorer. Enhed 1 var også den første station, hvor erfaringerne fra Tjernobyl-ulykken blev implementeret. Det drejede sig om følgende hovedpunkter:

1. Højere berigning af brændslet for at reducere den positive voidreaktivitets-koefficient og dermed gøre reaktoren mere stabil.
2. Ændret design af kontrolstavene samt øgning af deres antal.
3. Opstramning af driftsprocedurerne samt eliminering af muligheden for manuel frakobling af sikkerhedssystemer.
4. Reduktion af effekten med 20%.
5. Intensivering af operatøruddannelsen, herunder træning på fuldt udbyggede simulatorer.

Punkt 2, 3 og 4 blev straks implementeret i månederne efter Tjernobyl-katastrofen, mens 1 og 5 foregik over de følgende 2-4 år, således at alle 4 Leningrad-reaktorer i dag har implementeret ovenstående fem sikkerhedsmæssigt vigtige punkter. Dog er der fra omkring 1990 givet tilladelse til igen at øge effekten til den nominelle værdi, forudsat at en række andre designændringer foretages.

På Leningradværket er der blevet startet flere vestligt støttede projekter til forbedring af sikkerheden. EBRD, European Bank for Reconstruction and Development, har stået for finansieringen af støtten, kombineret med bilaterale aftaler. Finland har i kraft af sine nære relationer til det tidligere Sovjetunionen stået for koordineringen af projekterne.

Forbedring af brandbeskyttelsen på værket er et punkt, hvor den vestlige støtte har manifesteret sig, men også en opgradering af de 2 ældste enheder til standarden for 2. generations RBMK-reaktorer, d.v.s. enhed 3 og 4, er blevet iværksat. Det har især drejet sig om etablering af et system til lokalisering af uheld på de to ældste enheder. Dette indebærer, at alle 4 enheder får noget, som kan betegnes som en slags reaktorindeslutning, uden at den dog lever op til vestlig standard. Systemet skulle være driftsklart i slutningen af 1994.

Sideløbende med ovennævnte ændringer er man på alle fire enheder ved at indføre et nyt trykafledningssystem således, at man kan klare 9-10 samtidige brud på de 1661 brændselskanaler, der findes i hver af de 4 RBMK-reaktorer. Nødvendigheden af sidstnævnte forbedring er blevet påpeget af adskillige vestlige eksperter, og har været meget højt prioriteret. Oprindeligt var RBMK-reaktorerne kun konstrueret til at kunne modstå 2-3 samtidige brud på brændselskanalerne.

Endelig har enhed 2 netop fået skiftet samtlige 1661 brændselskanaler under en længere tids nedlukning. Grafitten i reaktorerne påvirkes af strålingen således, at efter 15-20 års drift er det luftgab, som skal være mellem grafitten og brændselskanalerne reduceret så meget, at der må ske en udboring af grafitblokkene, og en udskiftning af brændselskanalerne. En lignende udskiftning fandt sted på enhed 1 i 1993. Det drejer sig om en meget dyr renovering, som russerne selv har finansieret.

Ignalinaværket

Ignalinaværket ligger i Litauen ca. 130 km nordøst for hovedstaden Vilnius. Værket består af 2 RBMK-reaktorer, hver på 1500 MWe. De blev sat i drift i 1984 og 1987, som de eneste RBMK-reaktorer på 1500 MWe. De to enheder hører til anden generation af RBMK-reaktorer, og de tidligere omtalte (se Leningradværket) hovedpunkter er blevet implementeret. Brændslet på Ignalinaværket har hele tiden haft en højere berigning end de øvrige RBMK-reaktorer. Effekten holdes fortsat på 80% svarende til 1200 MWe for hver af de 2 enheder.

EBRD-banken har ydet støtte til sikkerhedsrelevante forbedringer på værket, ligesom en lang række vestlige bilaterale initiativer er blevet sat i gang. Sverige koordinerer indsatsen omkring støtten til Ignalina og har bl.a. netop afsluttet det såkaldte "Barselina"-projekt, hvor man har foretaget en probabilistisk sikkerhedsvurdering af værket for at identificere svage punkter. Navnet "Barselina" skyldes, at man har brugt de samme probabilistiske metoder, som er anvendt ved en tilsvarende analyse af Barsebäckværket.

Sikkerhedsforbedringerne på værket har hidtil koncentreret sig om følgende punkter:

- ultralydsundersøgelser af svejsninger i brændselskanalerne
- etablering af et forbedret trykaflastningssystem, som kan klare 9-10 samtidige brud på de 1661 brændselskanaler
- forbedret brandbeskyttelse
- etablering af et sekundært nedlukningssystem

I forbindelse med levering af vestligt udstyr til Ignalinaværket har der hersket tvivl om erstatningsansvar i tilfælde af uheld, hvis årsag kunne føres tilbage til det leverede udstyr. Det førte bl.a. til, at svensk udstyr, som var klar til at blive sendt af sted, blev tilbageholdt gennem det meste af 1993. Med Litauens underskrivelse af Wien-konventionen i slutningen af 1993, som pålægger kraftværksejeren hele erstatningsansvaret i tilfælde af uheld, blev denne hindring ryddet af vejen, og vestligt udstyr blev installeret. Dog er erstatningssituationen endnu ikke helt afklaret, idet landene omkring Litauen endnu ikke har underskrevet Wien-konventionen.

Endelig har EBRD-banken netop bevilget 33 mio. ECU til at finansiere forbedringer på værket. I forbindelse med underskrivelse af kontrakten har de nukleare myndigheder i Litauen måttet acceptere, at begge RBMK-enheder lukkes ned senest i 2010, forudsat at alternativ elektrisk forsyning kan etableres. En anden betingelse for at modtage støtten var, at de nukleare myndigheder i slutningen af 1995 på baggrund af en sikkerhedsanalyse af enhed 1 skal vurdere, hvorvidt denne enheds driftstilladelse skal forlænges ud over 1998.

Kravet om lukning senest år 2010 betyder, at der gives afkald på muligheden for en forlængelse af værkets levetid ved en fornyelse af brændselskanalerne, sådan som det er sket ved Leningrad-1 og -2.

Kurskværket

Kurskværket ligger i Rusland ca. 200 km nord for Kharkow. Værket består af 4 RBMK-enheder hver på 1000 MWe, hvor de to første enheder blev sat i drift i 1976 og 1979, og de to sidste i 1983 og 1985. Enhed 1 og 2, som hører til første generation af RBMK-reaktorer, er af myndighederne fortsat begrænset til at køre ved 80% af den nominelle effekt, hvorimod enhed 3 og 4, som hører til anden generation, kører ved 1000 MWe. Endvidere er en femte enhed, Kursk 5, 90% færdigbygget, men modstand fra befolkningsgrupper, dårlig økonomi og reduceret strømforbrug i området har afholdt russerne fra at færdiggøre enheden.

Smolenskværket

Smolenskværket ligger ca. 100 km sydøst for Smolensk og består af 3 RBMK-enheder, hver på 1000 MWe. Enhederne blev taget i drift i 1982, 1985 og 1990 og hører til blandt de mest moderne RBMK-enheder i Rusland. Således er Smolensk-3 den eneste RBMK-reaktor, hvor nødkølekapaciteten er blevet så meget forbedret, at den nærmer sig vestlig standard.

Tjernobylværket

Tjernobylværket, der ligger i Ukraine ca. 100 km nord for Kiev bestod oprindeligt af 4 RBMK-enheder, hver på 1000 MWe, der blev sat i drift i 1977, 1979, 1981 og 1983. De to ældste enheder hører til første generation af RBMK-reaktorer, mens de to nyeste hører til anden generation. Enhed 4 havarerede fuldstændigt ved katastrofen i april 1986, og enhed 2 har ligget stille siden oktober 1991 p.g.a. en brand i turbinebygningen. Branden ødelagde adskillige sikkerhedssystemer. Enhederne 1 og 3 er fortsat i drift.

Otte år efter ulykken er vestlige sikkerhedsmyndigheder stadig bekymrede over driften af de tilbageværende Tjernobyl-reaktorer, og de så helst driften af enhederne standset så hurtigt som muligt. Dårlig økonomi i Ukraine, lave lønninger til personalet på værket, manglende penge til indkøb af reservedele og nyt brændsel har forværret situationen. En stor del af personalet har været russere, og i de senere år er mange vendt tilbage til Rusland. Ca. 20% af det bedst uddannede personale har forladt værket i 1993, heriblandt værkets driftschef.

At den dårlige økonomi indvirker på driften af anlægget, kom bl.a. til udtryk ved brændselsskiftet på enhed 3 i december 1993. Her måtte man søge dispensation hos de nukleare myndigheder til at anvende brændsel med en berigning på 2,0% fra den nedlukkede enhed 2, på trods af den uheldige virkning dette ville have for reguleringsegenskaberne.

I 1991 besluttede den ukrainske regering at lukke samtlige Tjernobyl-enheder inden udgangen af 1993; denne beslutning blev imidlertid omstødt og afviklingen udskudt.

IAEA foretog i begyndelsen af 1994 en sikkerhedsgennemgang af værket, hvor man fandt mange alvorlige mangler. Dette blev påpeget fra IAEA, uden at henvendelsen dog havde nogen umiddelbar effekt på driften af værket.

G7-landene kom ved et topmøde i Napoli sommeren 1994 med et forslag til afvikling af Tjernobylværket. Heri foreslås, at Tjernobyl-1 lukkes i 1996, Tjernobyl-3 i 1997 samt at Tjernobyl-2 ikke genstartes. Til gengæld har G7-landene tilbudt 800 mio. \$ til færdiggørelse af VVER-1000 enheder på værkerne Zaporozhe, Khmel'nitsky og Rovno.

Ukraine har i princippet accepteret forslaget fra G7-landene, men de nøjagtige tidspunkter for lukning af enhederne er endnu ikke fastsat. Det samme gælder det vestlige bidrags størrelse, idet man fra ukrainsk side vurderer, at det vil koste langt mere end 800 mio. \$ at erstatte de 3 enheder. Ukraine får i dag ca. 30% af sit el-forbrug fra kernekraft. Industrien kører på så lav kraft, at der er en stor overskudskapacitet af el-produktion.

4.2 VVER-reaktorer

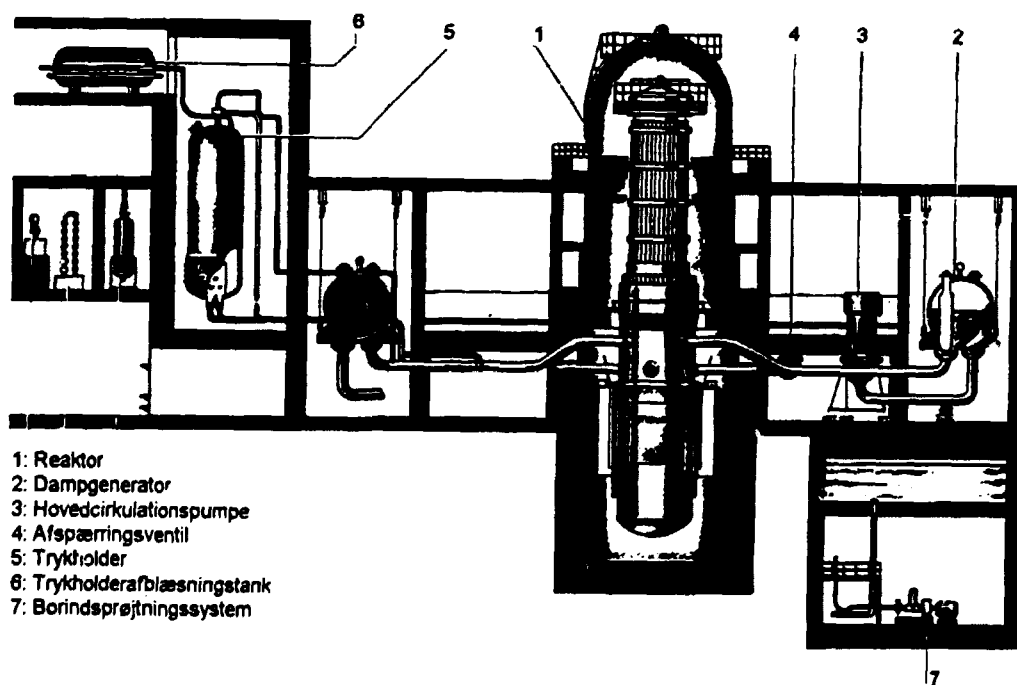
VVER-reaktorerne er den sovjetiske udgave af trykvandsreaktoren. De findes i to størrelser med elektrisk effekt på henholdsvis 440 MWe og 1000 MWe. For tiden er der 26 VVER-440-reaktorer og 19 VVER-1000-reaktorer i drift. De fordeler sig således:

| | VVER-440 | VVER-1000 |
|-----------|----------|-----------|
| Rusland | 6 | 7 |
| Ukraine | 2 | 10 |
| Finland | 2 | |
| Tjekkiet | 4 | |
| Slovakiet | 4 | |
| Ungarn | 4 | |
| Bulgarien | 4 | 2 |

Der er adskillige under bygning: 2 VVER-1000 i Tjekkiet, 4 VVER-440 i Slovakiet og 3-6 VVER-1000 i Ukraine. I Rusland siges 12 VVER-1000 at være under bygning. På en del af disse er byggeriet dog ikke kommet ret langt, eller også ligger det stille.

I Armenien blev to VVER-440 lukket for nogle år siden, fordi sikringen mod jordskælv fandtes utilstrækkelig. Der er nu tale om at starte dem igen.

Et par prototyper i Rusland (210 MWe og 365 MWe) og fem VVER-440 i Greifswald i det tidligere Østtyskland er nu lukket.



Figur 5. Det primære kredsløb i en VVER-reaktor type 440/230, Kola 1.

VVER-440

VVER-440 reaktoren er forsynet med 6 kølekredsløb med hver sin vandrette dampgenerator. Hvert af kredsløbene har to afspærringsventiler, der under nogle uheldsforløb kan hindre tab af kølemiddel. Primærsystemet indeholder p.g.a. de seks kredsløb en stor vandmængde, ca. 225 m³, og den termiske belastning af brændselsstavene er lav, i middel 12-13 kW/m. Disse to forhold bidrager positivt til reaktorsikkerheden. Trykket i reaktortanken er ca. 125 bar, og kølemidlets maksimale temperatur er ca. 300 °C.

VVER-440-typen opdeles normalt i en første generation, VVER-440/230, og en anden generation, VVER-440/213.

Af betydning for sikkerheden er - ud over det allerede nævnte - bl.a. følgende forhold:

- Bestrålingen af tankvæggen med hurtige neutroner er relativ høj. Dette påvirker svejsesømmene i reaktortanken, især en, der sidder ud for kernen, idet det har vist sig, at de svækkes ved neutronbestråling. Dette søges afhjulpet ved udglødning (475°C i ca. en uge) og forebygget ved, at 36 brændselementer i kernens periferi erstattes af stålelementer, hvilket mindsker neutronbestrålingen af tankvæggen.
- I en VVER-440/213 har reaktortanken en indvendig beklædning af poleret, rustfrit stål, 8-10 mm tyk. Fordelene ved denne er, at mængden af aktiverede korrosionsprodukter nedsættes, at vandets kemi er lettere at regulere, og at neutronbestrålingen af tankvæggen reduceres noget. Model 230 mangler denne beklædning.
- Model 230 har intet egentligt nødkølesystem, men 6 pumper i to grupper kan hver yde 10-15 liter borholdigt vand pr. sekund ved 125 bar. Med 4 pumper bliver det 185 m³ pr. time, svarende til, at kølingen kan opretholdes trods et brud på et rør i primærkredsen med indre rørdiameter på op til 50-100 mm. Rørene er forsynede med indsnævring (diameter 32 mm) for i givet fald at reducere tabet af kølemiddel. Model 230 har ingen lavtryksnødkøling. Sprinklersystemet til reaktorbygningen har tre pumper, hver med en kapacitet på 400 m³/h.
- VVER-440/213 har tre højtryks- og tre lavtrykspumper til nødkøling. Dertil kommer fire tryksatte lagertanke med borholdigt vand ved 60 bar. Drivgassen er kvælstof. Nødkølekapaciteten siges at være tilstrækkelig til et guillotinebrud på primærkredsens 500 mm rør.
- VVER-440/230 har ikke reaktorindeslutning i vestlig forstand. Bygningen omkring primærsystemet og dampgeneratorerne har ganske vist tykke vægge, som er gjort lufttætte med en 6 mm tyk beklædning af stål, men rumfanget er ikke ret stort, og det tilladelige overtryk er kun 1 bar. Der er 9 ventiler med en diameter på 1,13 m ud til det fri. Ved 0,5 bar overtryk åbner den første, ved 0,65 bar overtryk åbner de 8 andre. Der er ingen filtrering ved disse ventiler. Efter trykaflastning og ventillukning træder sprinklersystemet i funktion i reaktorbygningen.
- Noget bedre ser det ud for model 213. Rumfanget er større, ca. 40.000 m³, fordi der er tilføjet et boblekondenseringstårn på 25.000 m³. I tårnet kondenserer dampen, når den passerer opad gennem nogle vandfyldte bakker. Det store rumfang og dampkondensationen skulle give en betragtelig trykaflastning. Imidlertid mangler der viden om, hvordan hele systemet vil opføre sig under et alvorligt uheld. Enkeltkomponenterne kendes nogenlunde, men forsøg i mere realistisk målestok, hvor systemets dynamik kan afprøves, er aldrig blevet foretaget. OECD støtter opbygningen af to prøvestande, en i Ukraine og en i Tjekkiet. Model 213 har ingen aflastningsventiler.

VVER-1000

VVER-1000 minder mere om vestlige trykvandsreaktorer. Der er fire vandrette dampgeneratorer og en elgenerator på 1000 MWe. VVER-1000 har en regulær reaktorindeslutning, der kan tåle ca. 4 bar overtryk. Bortset fra de første fem VVER-1000 er afspæringsventilerne i primærsystemet udeladt.

I Vesten er der langt færre betænkeligheder ved VVER-1000 end ved VVER-440, bl.a. fordi reaktoren kan tåle et brud på det største kølemiddelrør under totalt bortfald af ekstern strømforsyning, og fordi VVER-1000 har reaktorindeslutning. En enkelt svaghed er dog de "kolde" manifolde i dampgeneratorerne, som er tilbøjelige til at revne, fordi de er lavet af perlit i stedet for af rustfrit stål (som i VVER-440).

Kola

Set fra et nordisk synspunkt har Kola-værket særlig interesse, fordi det ligger nær norsk og finsk område.

Kola-værket har fire VVER-440-reaktorer, to af model 230 og to af model 213. På grund af den geografiske nærhed til Norge og Finland har navnlig disse to lande været involveret i projekter vedrørende sikkerheden på værket. Finland har forsynet Kola-værket med en moderne simulator, og Norge har, efter et uvejr i 1993, der afbrød forbindelsen til nettet for alle fire reaktorer, bidraget med bl.a. dieselgeneratorer til nødstrømsforsyning, fordi Kola-1's dieselgeneratorer ikke kunne startes. De store vandvolumener på både primær- og sekundærsiden sikrede, at henfaldsvarmen blev ledt væk i de 2½ time, afbrydelsen varede.

I marts 1994 lækkede 50 m³ kølevand fra primærkredsen på Kola-2 (model 230) efter et brud på et 57 mm rør i et af hjælpesystemerne (rensning af vandet). En afspæringsventil hindrede yderligere tab af kølemiddel.

Ligeledes i marts 1994 lækkede der kølemiddel fra en flange i en kontrolstavs-gennemføring på Kola-3 (model 213).

Et generelt problem for de fleste kernekraftværker i Rusland er, at de ikke får penge for den strøm, de leverer. Det går ud over både vedligeholdelse og lønninger - og dermed over sikkerheden.

4.3 Skibsreaktorer

Kernekraft har kun i ringe omfang fundet anvendelse inden for civil skibsfart. USA, Tyskland og Japan har hver bygget et nukleart fragtskib, men de viste sig alle uøkonomiske, ligesom det var begrænset, hvilke havne de kunne få tilladelse til at anløbe. De blev derfor alle lagt op efter få års drift. Det eneste område, på hvilket kernekraft fortsat anvendes inden for civil skibsfart, er til isbrydere. Her har Sovjetunionen bygget 8 eller 9 isbrydere og et isbrydende fragtskib. Så vidt vides er alle disse skibe fortsat i drift, undtagen den ældste isbryder, NS Lenin, der blev lagt op i 1989.

Kernekraften spiller derimod en stor rolle inden for flådefartøjer, især hvad angår undervandsbåde, men også til hangarskibe og krydsere.

Det er alene kernevåbenmagterne, USA, Sovjetunionen/Rusland, Storbritannien, Frankrig og den kinesiske Folkerepublik, der har bygget nukleare flådefartøjer. Mange af disse er i dag så gamle, at de er taget ud af aktiv tjeneste. De er lagt op og venter på at blive hugget op.

USA har i alt bygget ca. 195 nukleare fartøjer, hvoraf ca. 180 er undervandsbåde. Af disse er ca. 120 stadig i aktiv tjeneste, ca. 105 ubåde og ca. 15 over-

flådefartøjer, mens de resterende, ca. 75, er lagt op. De ældste af disse er hugget op.

Sovjetunionen har bygget i alt ca. 250 nukleare flådefartøjer, hvoraf ca. 245 er ubåde. Af disse er ca. 120 stadig i aktiv tjeneste, ca. 115 ubåde og 5 overflådefartøjer. De resterende fartøjer, ca. 130, er lagt op. Et begrænset antal af disse er hugget op.

Storbritannien og Frankrig har kun bygget nukleare ubåde. UK har bygget i alt 24, hvoraf 8 i dag er lagt op. Frankrig har i alt bygget 12, hvoraf 1 er lagt op.

Også Kina har kun bygget ubåde, i alt ca. 6, som alle stadig formodes at være i aktiv tjeneste.

Ophugning af nukleare skibe foregår ved, at reaktorenes brændsel, som indeholder størstedelen af radioaktiviteten, først udtages og overføres til et lager for brugt brændsel på flådebasen. Efter en passende køletid i dette mellemlager, f.eks. på et par år, er en stor del af den indeholdte radioaktivitet henfaldet. Brændslet kan nu enten sendes til oparbejdning, hvor det resterende uran i brændslet udvindes og kan genbruges, eller til slutlagring med efterfølgende deponering.

Herefter renses reaktorkredsløbet, reaktorsektionen skæres ud af fartøjet, og lukkes ved påsvejsning af stålplader. Derudover kan man indstøbe de mest radioaktive dele, primært reaktortanken, i et plastmateriale for at begrænse korrosion. Reaktoren er nu klar til slutdeponering, f.eks. ved begravelse på land. Tidligere anvendte Sovjetunionen især slutdeponering i havet tæt ved øen Novaja Zemlja i Ishavet. Denne form for slutdeponering af reaktorer fandt også sted efter, at Sovjetunionen havde tiltrådt London-konventionen, som forbyder en sådan deponering.

Over halvdelen af den russiske, nukleare flåde har sine baser på Kola-halvøen. Forholdene omkring denne flåde har givet anledning til bekymring, ikke mindst i Norge. Bekymringen er ikke blevet mindre af de dårlige, økonomiske forhold i Rusland, som gør, at der kun er begrænsede ressourcer til at løse problemerne. Følgende problemer skal nævnes:

De russiske mellemlagre for reaktorbrændsel er nær ved at være fyldt op, hvorfor mange af de oplagte ubådes reaktorer stadig indeholder uranbrændsel. Dette indebærer en potentiel risiko for reaktoruheld, f.eks. på grund af svigtende køling af brændslet eller p.g.a. utilsigtet kritikalitet, f.eks. i forbindelse med brændselsudtagning. Det skal nævnes, at sådanne reaktoruheld vil have langt mindre konsekvenser end Tjernobyl-katastrofen. Dels indeholder flådereaktorer langt mindre radioaktivitet, dels er de af en anden, sikrere type.

En del af reaktorerne, antallet er ukendt, men formentlig omkring 5, har været udsat for uheld. Herved er brændslet blevet beskadiget, f.eks. ved smeltning, og det kan derfor ikke tages ud af reaktorerne. Tidligere sænkede man sådanne reaktorer i havet ved Novaja Zemlja.

De eksisterende mellemlagre for brugt brændsel har form af vandbassiner, der enten er anbragt på land eller i skibe. Vandet tjener dels til at køle brændslet, dels til at absorbere strålingen fra brændslet. Disse lagre er ikke alene ved at være fyldt op, men de har også givet anledning til forskellige uheld, f.eks. lækager i bassinerne, hvorved vand er drænet ud.

Den russiske flåde har ikke tilstrækkelige faciliteter til at behandle det flydende, radioaktive affald, som uundgåeligt opstår ved reaktordrift. Man har derfor hidtil dumpet dette i havet omkring baserne.

Som ovenfor nævnt har man i Sovjet-tiden dumpet hele reaktorsektioner med beskadiget brændsel, i et tilfælde endog en hel ubåd, i havet ved Novaja Zemlja. Man kunne derfor frygte, at det indeholdte, radioaktive materiale slipper ud og forurener Ishavet. Der har været foretaget målinger af russiske og norske videnskabsmænd, og de hidtidige målinger tyder ikke på, at den sovjetiske/russiske flådes nukleare aktivitet har givet målelige stigninger i radioaktiviteten i Ishavet.

Mens de vestlige landes nukleare flåder ikke har haft reaktorulykker, har den sovjetiske haft mange. Der er dog ikke nogen af disse, der har ført til, at skibet sank. 5 nukleare ubåde er sunket, to amerikanske og tre sovjetiske, p.g.a. ikke-nukleare ulykker og befinder sig i dag på havets bund. Men reaktoranlæggene har ikke i noget af tilfældene bidraget til sænkningen, ligesom man ikke efterfølgende har målt væsentlige stigninger af radioaktiviteten i området. Derimod har sovjetiske reaktorulykker i adskillige tilfælde kostet flådepersonale livet. Der har ikke hidtil fra vestlig side været villighed til at hjælpe russerne med disse problemer. Et af argumenterne herfor har været, at Rusland hellere skulle anvende sine begrænsede ressourcer på at løse disse problemer end på at bygge nye, nukleare flåde fartøjer.

4.4 Støtteprogrammer for Østeuropa

Generelt

De vestlige hjælpeforanstaltninger med hensyn til forbedring af den nukleare sikkerhed i østlandene har været præget af, at politiske forandringer i Østeuropa og frem for alt Sovjetunionens opløsning med ét gjorde sikkerhedsspørgsmålet meget nærværende. Det var åbenbart, at for at dække behovet for hjælp ville meget store økonomiske satsninger være nødvendige, og der opstod et stærkt politisk pres og en økonomisk vilje til hurtigt at få iværksat initiativer.

Det politiske pres betød, at der ikke var tid til langvarige forberedelser inden foranstaltningerne skulle iværksættes og gerne indvirke positivt på reaktorsikkerheden, helst i form af hurtig nedlukning af de mindst sikre anlæg.

Selv om det nu snart er 9 år siden Tjernobylulykken indtraf, og det intensive hjælpearbejde har været i gang i en del år, så er det ud over de østtyske reaktoranlæg ikke mange reaktorer, som er blevet lukket ned i den forløbne periode. Hertil kommer, at de få nedlukninger af reaktorer, der har fundet sted, næppe kan tilskrives den vestlige hjælp.

Umiddelbart kunne det således se ud, som om hjælpearbejdet hidtil har været en fiasko, og der har da også med jævne mellemrum været rettet kraftig kritik ikke mindst mod EU's gennemførelse af sine programmer. For medens det er nemt at konstatere, om der lukkes kernekraftværker eller ej, så er det meget sværere at fremskaffe synlige beviser på, at de gennemførte foranstaltninger virkelig medvirker til forbedring af sikkerheden. Hertil kommer, at der i kritikken af sikkerheden ved de østeuropæiske kernekraftværker ofte indgår politiske faktorer. Reelle sikkerhedsmæssige forbedringer, der gør, at nogle værker på et forsvarligt sikkerhedsmæssigt grundlag ville kunne videreføres i en lidt længere periode, er derfor ikke altid velset.

For en stor og bureaukratisk organisation som EU har det været et problem, at det var vanskeligt pludseligt at skulle omstille det store administrative apparat til at løse helt andre opgaver, end det var vant til. Der blev afsat store beløb på EU's budgetter til hjælp til østlandene, men det kneb med at udforme konkrete projekter, og EU blev kritiseret for især at interessere sig for langsigtede udredningsprojekter, som ikke havde nogen umiddelbar indvirkning på reaktorsikkerheden. Omvendt havde de bilaterale hjælpeprogrammer, der hurtigt blev etablerede, lettere ved at tilpasse sig situationen, og de kunne dermed hurtigere præsentere resultater.

G7-initiativ

For at sætte mere skub i hjælpearbejdet iværksatte G7-landene (USA, Japan, Canada, Storbritannien, Frankrig, Tyskland og Italien) i juli 1992 på tysk foranledning en række initiativer med henblik på koordineret hjælp til forbedring af sikkerheden. Disse omfattede etablering af en koordinationsmekanisme gennem G24-samarbejdet (de vesteuropæiske lande, USA, Canada, Japan, Australien, New Zealand og Tyrkiet) og etablering af en international fond, der skulle administreres af den europæiske udviklingsbank EBRD (European Bank for Reconstruction and Development).

I G7-landenes beslutning blev der peget på 5 indsatsområder:

- driftssikkerhedsmæssige forbedringer på anlæggene
- tekniske forbedringer på kort sigt
- styrkelse af sikkerhedsmyndighederne
- undersøgelse af energialternativer med henblik på lukning af de mest usikre værker
- opgradering af de bedre anlæg

G7-landene pegede endvidere på behovet for at færdiggøre arbejdet med etableringen af en nuklear sikkerhedskonvention.

Initiativet fra G7-landene må siges at have været en succes, idet flere af forslagene i dag indgår som væsentlige elementer i den internationale hjælp til øst-landene. Det drejer sig især om koordineringen gennem G24 og etableringen af den meget effektive nukleare fond NSA (Nuclear Safety Account) i EBRD. Arbejdet med udarbejdelsen af den nukleare sikkerhedskonvention er afsluttet, og konventionen blev fremlagt til underskrivelse ved IAEA's generalforsamling i september 1994, hvor bl.a. Danmark underskrev konventionen. Arbejdet ventes i 1995 fulgt op med en tilsvarende konvention vedrørende håndtering af radioaktivt affald.

Koordinering af hjælpearbejdet - G24

Den koordineringsmekanisme, som G7-topmødet foretog etableret indenfor rammerne af G24-samarbejdet, består af en styringsgruppe, et sekretariat og en plenarforsamling.

EU spiller en væsentlig rolle i G24-samarbejdet og varetager bl.a. sekretariatsfunktionen. Styringsgruppen, bestående af G7-landene plus Sverige og Finland, varetager sammen med sekretariatet det daglige arbejde, medens plenum, som omfatter både donorlande og modtagerlande, mødes et par gange årligt. Danmark deltager i plenum repræsenteret ved Udenrigsministeriet og Beredskabsstyrelsen.

G24 har ikke selvstændige midler til iværksættelse af projekter, men finansieres i høj grad af EU. Formålet med G24 er at koordinere den internationale og bilaterale indsats, dels med henblik på at undgå dobbeltarbejde, dels for at pege på områder, hvor der er behov for hjælp. Til støtte for dette arbejde har G24 etableret en projektdatabase, hvortil der er on-line adgang. Databasen indeholder mange hundrede projekter.

EBRD

Den internationale nukleare fond NSA i EBRD's regi blev etableret i april 1993 med tilsagn om et startbudget på 117 MECU (1 MECU = 1 mio. ECU), heraf et dansk tilsagn på 2 MECU. Senere er der kommet flere bidrag, således at budgettet i dag snarere udgør 200 MECU. Kredsen af donorlande udgøres af Canada, Danmark, Finland, Frankrig, Holland, Italien, Japan, Norge, Schweiz, Sverige, Storbri-

tannien, Tyskland, USA og EU kommissionen. Senere har også Belgien tilsluttet sig.

Det første projekt vedrørte støtte på 48 MECU til Kozloduy-værket i Bulgarien, men i betragtning af Kozloduy's fjerne beliggenhed er det mere de efterfølgende projekter, der har dansk interesse.

Den 10. februar 1994 blev der således indgået aftale med Ignalina-værket og den litauiske regering om, at der ydes støtte fra fonden til forbedring af sikkerheden på værket. Der skal endvidere gennemføres en detaljeret sikkerhedsanalyse af anlægget efter vestlige retningslinier. Analysen skal foreligge inden udgangen af 1995, hvorefter den skal bedømmes af vestlige eksperter med henblik på identifikation af sikkerhedsmæssige svagheder og forslag til forbedringer. Evalueringsrapporten vil blive behandlet af et ekspertpanel udpeget af EBRD og den litauiske regering i fællesskab. Panelets bedømmelser af anlæggets sikkerhed, ledelsens håndtering af sikkerhedsspørgsmål og anvendte driftsprocedurer vil indgå i den litauiske tilsynsmyndigheds (VATESI) behandling af tilladelse til fortsat drift af anlægget. Aftalen med Litauen andrager et beløb på ca. 34 MECU til sikkerhedsmæssige forbedringer, hvortil kommer ca. 7,3 MECU til sikkerhedsanalyse og evaluering af sikkerhedsanalysen.

Litauen har forpligtet sig til, at fortsat drift af Ignalina-I efter 1998 kun må foregå under forudsætning af, at VATESI på baggrund af sikkerhedsbedømmelsen kan udstede fornyet driftslicens. I afgørelsen om fortsat drift vil også indgå overvejelser vedr. omkostninger til nødvendige sikkerhedstekniske forbedringer og landets energiforsyningsituation. Litauen har endvidere forpligtet sig til, at ingen af reaktorerne vil fortsætte driften ud over tidspunktet for udskiftning af reaktorerens trykrør og udboring af grafitkanaler. Dette begrænser den resterende drifttid for de to reaktor anlæg til ca. 5 år for blok 1 og ca. 10 år for blok 2.

Efter indgåelse af aftalen med Litauen har arbejdet i den nukleare fond især været rettet mod etablering af projekter med Rusland. Der er udarbejdet foreløbige planer for sådanne projekter omfattende de fire VVER-440/230 anlæg Kola-I og -2 samt Novovoronezh-3 og -4 og de fire RBMK-1000 anlæg i Sosnovy Bor (Leningrad-værket). Betingelserne for indgåelse af disse projekter forhandles for tiden mellem EBRD og de russiske myndigheder. Det forventes, at en aftale hurtigt vil kunne falde på plads.

Ifølge planen er næste punkt i programmet for den nukleare fond at søge aftale med Ukraine om et program, der kan føre til lukning af de resterende anlæg i Tjernobyl.

Endelig kan det oplyses, at EBRD uden for den nukleare fonds regi er involveret i planer om at yde bistand til færdiggørelse og sikkerhedsmæssig opgradering af to VVER-440/213 anlæg i Mochovce i Slovakiet. Til gengæld skal de to VVER-440/230 anlæg i Bohunice lukkes.

De hidtidige erfaringer fra arbejdet i den nukleare fond tyder på, at der her er opbygget en meget effektiv organisation med betydelig større handlefrihed og handlekraft, end den EU har kunnet fremvise gennem sine programmer.

Nordiske landes bilaterale hjælpeprogrammer

Sverige har et meget stort bilateralt hjælpeprogram på det nukleare område omfattende både nuklear sikkerhed, beredskab og strålingsbeskyttelse. Hjælpen er især rettet mod Litauen og Ignalina kernekraftværket og omfatter hjælp med etablering af en nuklear lovgivning, støtte til udvikling af tilsynsmyndigheden, etablering af et safeguardssystem, træning af inspektører m.v.

Det såkaldte Barselina-projekt omfatter samarbejde mellem specielt Barsebäck og Ignalina, bl.a. om opstilling af en sandsynlighedsbaseret risikomodel for Ignalina. Sandsynlighedsbaserede risikomodeller har været anvendt i de vestlige lande i

over 20 år siden den såkaldte Rasmussen-rapport, og de udgør det vigtigste værktøj til systematisk forbedring af sikkerheden på nukleare anlæg. Gennem det svenske hjælpeprogram er der i 1994 for første gang opstillet sådanne modeller for en RBMK-reaktor.

Det finske hjælpeprogram er rettet dels mod Leningrad-værket, dels mod Kola-værket. Desuden indgår Finland i mange internationale hjælpeprogrammer på grund af den specielle viden finerne har om russiske reaktorer gennem Loviisa-anlægget. Det norske bilaterale program er specielt rettet mod Kola-området.

Indenrigsministeriets sektorprogram på området nuklear sikkerhed, strålingsbeskyttelse og atomberedskab

I forbindelse med omlægning af den danske udviklingshjælp til Øst- og Central-europa blev der i 1994 indført såkaldte miljørelaterede sektorprogrammer under de relevante fagministerier. Oplægget hertil blev fremlagt i juni 1993 med rapporten "Danmarks internationale indsats" fra et tværministerielt udvalg.

I 1994 var der i alt reserveret 100 mio. kr til sådanne programmer, hvoraf Indenrigsministeriet fik tildelt 15 mio. kr til et hjælpeprogram på det nukleare område, omfattende nuklear sikkerhed, strålingsbeskyttelse og atomberedskab. Programmet, som administreres af Beredskabsstyrelsens Tilsyn med Nukleare Anlæg, skal medvirke til at reducere risikoen for ulykker på østlige nukleare anlæg, herunder især kernekraftværker, medvirke til, at de miljømæssige og sundhedsmæssige konsekvenser af store ulykker begrænses, samt assistere østlandenes myndigheder med opbygning af faglig kompetence på området.

Retningslinierne for iværksættelse af programmerne forelå først sent i april 1994, og da proceduren er temmelig omstændelig, har forberedelsen af programmet taget en stor del af 1994. Der skal således indgås formel programaftale på regeringsniveau med modtagerlandet, og aftalen skal godkendes af Folketingets finansudvalg, før bevillingen kan frigøres i form af et aktstykke.

Midlerne til det nukleare sektorprogram for 1994 var fordelt med 2,5 mio. kr til såvel Polen som Litauen og 10 mio. kr til Rusland. Det lykkedes meget hurtigt at komme igennem med aftalerne med Polen og Litauen således, at et aktstykke med disse lande kunne godkendes af Finansudvalget i sommeren 1994. Forhandlingerne med Rusland var vanskeligere, bl.a. på grund af generelle danske krav om fritagelse for afgifter m.v., og det lykkedes først at komme igennem med aftalerne i sidste øjeblik.

Heldigvis er der ikke krav om, at pengene til sektorprogrammet skal anvendes samme år, som de bevilges - bevillingen gælder i 3 år - så nu, hvor formaliteterne er i orden, er der mulighed for i højere grad at rette indsatsen mod det arbejde, der skal udføres.

Programmet vedrørende *Polen* omfatter bl.a.:

- opbygning af en atomberedskabsplan og strukturering af en beredskabsorganisation
- etablering af varslingsmålesystemer og evt. bærbare målesystemer
- udveksling af information vedr. måleteknik
- etablering af det danske EDB-system ARGOS NT til præsentation af strålingssituationen
- information til offentligheden.

Hovedopgaven er etablering af permanente målestationer til varsling af atomuheld. Målestationerne får samme funktion som dem, der er opstillet i Danmark, men den tekniske opbygning er ved at blive modificeret af hensyn til tilpasningen til eksisterende målestationer i bl.a. de baltiske lande og for at tage højde for de

seneste års tekniske udvikling.

Der er som nævnt bevilget 2.5 mio. kr til programmet i 1994, hvilket ikke er tilstrækkeligt til gennemførelse af ovenstående program. Der stiles derfor efter en tilsvarende bevilling i 1995. Beredskabsstyrelsen er tillige koordinator af et EU-program på det nukleare myndighedsområde. Dette vil blive koordineret med det bilaterale program, således at opgaven med opbygning af et polsk atomberedskab primært vil blive gennemført over EU programmet.

Programmet med *Litauen* omfatter ligeledes etablering af varslingsmålesystemer svarende til det danske, permanente målesystem, samt etablering af ARGOS NT programmet i Litauen. Fra de litauiske myndigheders side er der specielt ønske om etablering af målestationer omkring Ignalina kernekraftværket, hvorfor indsatsen især vil blive koncentreret herom. Det er aftalt med litauerne, at ARGOS programmet skal anvendes til ikke blot at præsentere måledata fra de danske målestationer i Litauen, men også fra de målestationer, der allerede er opsat, bl.a. fra svensk side. Det danske program koordineres løbende med det svenske hjælpeprogram.

Med *Rusland* er der indgået to programaftaler. Det skyldes, at indholdet i det danske hjælpeprogram omfatter både nuklear sikkerhed, der i Rusland dækkes af atomenergiministeriet MINATOM, og forbedringer på atomberedskabsområdet, der henhører under beredskabsministeriet EMERCOM. Det aftalte program består af

1. Forbedring af sikkerheden på Leningrad-værket og
 2. Kortlægning og rensning af radioaktivt forurenede områder.
-
1. Den vestlige indgang til Leningrad-værket ved Skt. Petersborg er den finske nukleare sikkerhedsmyndighed STUK, som har etableret et kontaktnet med russerne gennem mange års samarbejde. Beredskabsstyrelsen har ved oplægget til sit program taget udgangspunkt i STUK's forarbejde, ligesom der også i forbindelse med implementeringen af programmet holdes tæt kontakt med finerne. Det danske oplæg er blevet vel modtaget af russerne. Den danske hovedopgave vedr. Leningrad-værket vil være brandbeskyttelse. På dette område er der rigeligt med relevante opgaver til at udfylde den ramme på 7 mio. kr, der er til rådighed af bevillingen for 1994, men der er endvidere mulighed for levering af ekspertise vedr. ultralydsundersøgelse af svejsninger.
 2. Der er allerede etableret forskningssamarbejde mellem Risø og russiske samarbejdspartener vedrørende opmåling og rensning af radioaktiv forurening i to områder i henholdsvis Kaluga og Tjeliabinsk provinserne i Rusland. Gennem sektorprogrammet intensiveres og udvides dette samarbejde til egentlige bistandsprojekter, bl.a. gennem levering af dansk udstyr til rensning m.v. Forureningen af Kaluga regionen stammer fra Tjernobylulykken. Det dansk-russiske samarbejde kan medvirke til, at forurenede områder fortsat vil kunne anvendes som boligområder. Området mellem byerne Ekaterinburg og Tjeliabinsk i det sydlige Ural er formentlig det område i verden, der er stærkest forurenet med radioaktive stoffer, med potentiel risiko for, at forureningen via Ob floden kan brede sig til det arktiske havområde. Der er i 1994 afsat 3 mio. kr til disse projekter.

5 Udviklingstendenser i andre lande

5.1 Nord- og Sydamerika

USA

Ved begyndelsen af 1994 havde USA 109 kernekraftværker, alle med letvandsreaktorer, med en samlet effekt på 104 GWe i drift.

USA's nuværende regering nærer betydelig bekymring for spredning af kernevåben til nye lande. Dette har medført en række initiativer fra regeringens side. USA har indgået en aftale med Rusland om over en tyveårig periode at købe 500 t højt beriget uran, hidrørende fra kernesprængladninger, der som følge af nedrustningsaftaler skal destrueres. Det højt berigede uran skal blandes med depleteret uran og leveres som lavtberiget uran til USA og benyttes som brændsel i kraftreaktorer.

Regeringen har lukket det sidste amerikanske hurtigreaktorprojekt, Integral Fast Reactor, som var planlagt til at udnytte plutonium, og som ville producere plutonium i ren form. Regeringen har indgået en aftale med Nordkorea, ifølge hvilken Nordkorea skal indstille driften af en 5 MWe kraftreaktor og bygningen af en 50 MWe og en 200 MWe kraftreaktor. Disse er alle velegnede til at producere våbenkvalitet-plutonium. De tre reaktorer er konstrueret til at anvende naturligt uran som brændsel og grafit som moderator. Ligeledes skal landets nukleare aktiviteter underkastes IAEA-inspektion. Til gengæld vil Nordkorea få leveret 2 letvandsreaktorer, som ikke producerer våbenkvalitet-plutonium. Endelig skal nævnes problemerne omkring USA-Euratom-aftalen, der udløber med udgangen af 1995. Denne aftale giver Euratomlandene fri dispositionsret over reaktorbrændsel leveret fra USA, men USA ønsker denne ret begrænset, da nogle af de europæiske lande oparbejder det bestrålede brændsel og genanvender det udvundne plutonium.

Til trods for, at USA er det land i verden, der længst har produceret den største mængde af højaktivt affald, er man endnu ikke kommet til enighed om, hvordan det højaktive affald, primært udbrændt brændsel og radioaktivt affald fra oparbejdningsanlæg, skal håndteres. Problemet er ikke så meget, hvordan det skal behandles, som hvor det skal deponeres. Ifølge Nuclear Waste Policy Act fra 1982 skulle det amerikanske energiministerium (DOE) fra 31/1 1998 være rede til at overtage de amerikanske kernekraftværkers brugte brændsel. DOE har imidlertid meddelt, at de kun opfatter lovens tilsagn som en moralsk forpligtelse, det muligvis ikke vil være muligt at opfylde. Dette har fået en række amerikanske delstater og el-selskaber til at sagsøge energiministeriet. DOE's opbevaring og deponering af brændslet finansieres gennem en energi-afgift på elproduktionen fra kernekraftværker.

Efter udtagning af det udbrændte brændsel opbevares dette i en årrække i vandbassiner ved reaktorerne. Ved mange amerikanske kernekraftværker er disse bassiner ved at være fulde, og man er derfor meget interesseret i at kunne aflevere brændslet til DOE. En alternativ opbevaringsmetode for udbrændt brændsel nogle år efter, at det er taget ud af reaktoren, er tør, luftkølet opbevaring i stål-betonbeholdere, der opstilles på værkerne. Man er begyndt at anvende denne metode i USA, men visse delstater vil ikke acceptere den.

DOE planlægger deponering af højaktivt affald i et dybt, underjordisk deponi i Yucca-bjergene i Nevada. Dette deponi skal være således indrettet, at brændslet om fornødent kan fjernes igen, hvis uventede vanskeligheder skulle vise sig (MRS = Monitored Retrievable Storage). Da planerne for deponiet gentagne gange er blevet udskudt p.g.a. politiske problemer, har en række el-selskaber indledt un-

dersøgelser af et muligt privat deponi, formentlig i New Mexico under et indiansk reservat. Selv om det private deponi skulle blive til noget, vil der stadig være behov for Yucca-deponiet p.gr.a. store mængder højaktivt affald fra kernevåbenproduktion, flådereaktorer m.v.

Tidligere var der i USA 2 anlæg, der modtog lavaktivt affald fra hele USA, Richland i staten Washington, og Barnwell i South Carolina. Disse deponier involverer begge nedgravning af affaldet nær jordoverfladen. De to stater har ønsket at begrænse mængden af deponeret affald. Richland vil kun modtage lavaktivt affald fra det vestlige USA (eksklusive Californien og Arizona). Barnwell modtog affald fra hele USA indtil 30. juni 1994, men vil herefter kun modtage affald fra det sydøstlige USA og kun frem til 31. december 1995. Herefter skal et nyt deponi for det sydøstlige USA være i drift i Wake County i North Carolina; dette deponi vil imidlertid ikke være klar før tidligst engang i 1996. I Californien planlægges et anlæg i Ward Valley, der også skal betjene Arizona samt North og South Dakota. Texas vil bygge et anlæg i Fort Hancock, der også skal betjene Maine og Vermont. Det er ikke klart, om staterne i det centrale og nordøstlige USA vil gå sammen om fælles anlæg, eller om de vil bygge hver sit. I Nebraska planlægges et anlæg ved Butte og i staten New York overvejes et anlæg nær Ashford. Der foreligger ikke endelig godkendelse for nogen af de nævnte, nye anlæg. Alternativet til aflevering af det lavaktive affald ved deponier er fortsat opbevaring hos den, der producerer affaldet.

I de seneste år er der i USA gennemført lovgivning, bl.a. National Energy Policy Act, der har til formål at øge konkurrencen mellem amerikanske el-selskaber. Tidligere har disse været vant til at sælge el til produktionsprisen plus et profittillæg. Dette vil ændre sig fremover, og det vil ramme nogle af de amerikanske el-selskaber, der har kernekraftværker. I USA har byggetiden for disse værker været op til den dobbelte af den europæiske. Herudover øges kapitaludgifterne. Endvidere har udnyttelsesgraden ofte været mindre end i Europa, hvorved indtjeningen bliver mindre. Endelig har personalet ofte været større, hvorved driftsudgifterne bliver større. Alt dette gør, at nogle amerikanske el-selskaber må forventes at komme i økonomiske vanskeligheder i de kommende år.

De amerikanske reaktorsikkerhedsmyndigheder, NRC, gav i juli 1994 endelig godkendelse af General Electrics design for den avancerede kogendevandsreaktor (ABWR) og ABB Combustion Engineerings trykvandsreaktordesign (System 80+).

Den republikanske valgsejr i november 1994 kan meget vel få indflydelse på USA's energipolitik fremover. En af konsekvenserne af valgsejren kan blive, at DOE nedlægges, og dets aktiviteter overføres til andre ministerier og institutioner.

Canada

Ved begyndelsen af 1994 havde Canada 22 kernekraftenheder, alle med CANDU-reaktorer, med en samlet effekt på 17 GWe i drift.

Det statsejede Atomic Energy of Canada Limited (AECL) har meddelt, at selskabet planlægger at reducere staben fra 4300 til 3700 over de næste 2 til 4 år p.gr.a. faldende ordrebeholdning. AECL bygger 3 kernekraftenheder i Sydkorea og 5 i Rumænien.

Ontario Hydro, som ejer langt de fleste af Canadas kernekraftværker, har besluttet at lukke kernekraftenheden Bruce-2 i 1995 efter 18 års drift på grund af overkapacitet. Muligheden af senere genstart overvejes. Samtidig vil 4 kulfyrede enheder blive lagt i mølpose. Når Bruce-2 enheden blev valgt, skyldes det, at dens dampgeneratorer p.gr.a. en menneskelig fejl blev forurenet med bly i 1986. Denne forurening har fremkaldt revnedannelser i dampgeneratorerne p.gr.a. korrosion. Ontario Hydro planlægger også at mindske sin nukleare stab med 400 for at forbedre konkurrencedygtigheden.

Ontario Hydro's Pickering-7 kernekraftenhed satte i 1994 verdensrekord med en uafbrudt driftsperiode på 894 dage. Den lange driftsperiode er muliggjort af, at man ved CANDU-reaktorerne kan skifte brændsel under drift.

Mexico

Ved begyndelsen af 1994 havde Mexico en kernekraftenhed med en effekt på 675 MWe i drift.

Mexicos anden kernekraftenhed, Laguna Verde-2, også med en effekt på 675 MWe, blev d. 11. november 1994 koblet til det mexicanske el-net.

Brasilien

Brasiliens eneste igangværende kernekraftværk, Angra-1 med en effekt på 675 MWe, var ude af drift i det meste af 1994 p.g.a. reparationer, men blev igen taget i drift i december måned.

Brasiliens senat ratificerede d. 9. februar 1994 aftalen mellem Argentina, Brasilien og IAEA om international kontrol af nukleare materialer.

Argentina

Ved begyndelsen af 1994 havde Argentina 2 kernekraftenheder med en samlet effekt på 1005 MWe i drift.

Argentinas Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEA), der hidtil har stået for landets kernekraftprogram, skal opdeles i en tilsynsorganisation, Ente Nacional Regulador Nuclear, og et statsejet selskab, Atomic S.A., der skal overtage CNEA's forskningsprogram og brændselsaktiviteter, inklusive slutdeponering af højaktivt affald. Nucleoelectrica Argentina S.A. (NASA), et selskab i den private sektor, skal overtage landets kernekraftværker samt et vandkraftværk som et led i regeringens privatiseringsprogram. NASA skal gradvis sælge sine anlæg til andre industrielle grupper.

5.2 Asien, Afrika og Australien

I Asien, Afrika og Australien har Japan, Sydkorea, Taiwan, Kina, Indien, Pakistan og Sydafrika kernekraftværker.

Japan

Japans kernekraftprogram, hvis rygrad udgøres af letvandsreaktorerne (lidt flere BWR end PWR) omfatter 49 reaktorer i drift med en samlet elektrisk effekt på 40.531 MWe, dækkende ca. 30% af elforbruget. Yderligere ca. 20 reaktorer (hvoraf 6 er under opførelse) forventes taget i drift i løbet af de næste 10-12 år. Den installerede nukleare effekt er planlagt til at være 45.600 MWe i år 2000 og 70.500 MWe i år 2010. Den første nye avancerede reaktor, en 1356 MWe BWR, som bygges for Tokyo Electric (Tepco) af Toshiba, Hitachi og General Electric, ventes i kommerciel drift i december 1996. De første to avancerede trykvandsreaktorer (1420 MWe, Mitsubishi/Westinghouse) venter endnu på den sidste godkendelse af byggeansøgningen.

De ældste reaktorer er efterhånden ved at nå renoveringsalderen. Man har således iværksat et program for udskiftning af dampgeneratorer og tryktanklåg. Endvidere er man begyndt at lægge en strategi for dekommissioneringen (efter år 2000) af Magnox-reaktoren fra 1966 og de efterfølgende letvandsreaktorer (den ældste er

fra 1970).

Den hurtige formeringsreaktor (FBR) Monju, som er en 280 MWe prototype, indledte forsøgsdrift i april 1994 og forventes i kommerciel drift i slutningen af 1995. Reaktoren, som kan producere mere fissilt materiale (plutonium) end den bruger, efterfølges af en 660 MWe FBR efter århundredeskiftet. Desuden er en højtemperatur-testreaktor under bygning.

Den avancerede termiske reaktor (ATR) Fugen, som er en 165 MWe tungtvandsmodereret, letvandskølet reaktor med plutonium-baseret brændsel, har kørt siden 1979 og ventes efterfulgt af en 606 MWe demonstrationsreaktor først i næste århundrede. Der foregår desuden forsøgsdrift med MOX-brændsel (plutonium-uranoxid blanding) i letvandsreaktorerne.

I de nyligt reviderede udviklingsplaner fastholdes det ambitiøse program for brugen af plutonium, om end i et noget nedsat tempo i forhold til den tidligere plan fra 1987, idet kraftværkerne forsøger at holde fast i de velprøvede, mere økonomiske letvandsreaktorer længst muligt. En stor del af brændelseskredsløbsarbejdet er hidtil foregået i Frankrig og Storbritannien, men et berigningsanlæg er under udbygning og et oparbejdningsanlæg for brugt brændsel (800 t/år) er under opførelse i Rokkasho-mura (Nord-Honshu). Disse anlæg forventes efter år 2000 at overtage en stigende del af brændelseskredsløbsarbejdet, så man undgår de lange transporter. Ligeledes arbejdes der med planer for vitrificering og deponering af affald.

Hensynet til den folkelige opinion såvel som internationalt pres har ført til, at man nu er begyndt at offentliggøre detaljerede redegørelser for plutoniumbeholdningen (p.t. totalt knap 11 tons) samt langtidsplaner for balancen mellem forbrug og produktion for derigennem at afvise beskyldninger om militære hensigter. I øvrigt er det bemærkelsesværdigt, at socialdemokratiet, der traditionelt har været imod kernekraft, efter at have fået regeringsansvar, officielt har accepteret nødvendigheden af kernekraften.

Syd-korea

Syd-korea er det land i det østasiatiske vækstområde, der har den højeste nukleare dækningsgrad (ca. 40% af elforbruget) og den hurtigste udbygningstakt. Der er 9 reaktorer i drift (8 PWR og 1 CANDU-reaktor) på tilsammen 7616 MWe. Andre 7 (heraf 3 CANDU-reaktorer) er under bygning, og med yderligere 7 planlagte reaktorer ventes den samlede kapacitet at blive 20.400 MWe i år 2006. Kernekraftprogrammet blev iværksat efter oliekrisen i 1973 på grundlag af europæisk og amerikansk teknologi. Sideløbende er der opbygget en indenlandsk industri, der er ved at gøre landet næsten selvforsynende (bortset fra uranproduktion og berigningsanlæg). Det brugte brændsel opbevares midlertidigt, indtil der træffes beslutning om eventuel genoparbejdning.

Taiwan

Taiwans seks letvandsreaktorer på i alt 5146 MWe leverer ca. 35% af elforbruget. Man er i færd med at vurdere tilbud på to nye PWR til det fjerde kraftværk (Lungmen). Man har ikke en selvstændig kernekraftindustri i lighed med Syd-koreas, men forsøger at opnå teknologioverførsel i forbindelse med projektet.

Kina

Kinas civile kernekraftopbygning har været længe undervejs, men ifølge de foreliggende planer forestår en nærmest eksplosiv vækst. Foreløbig har man dog kun en kinesisk konstrueret 300 MWe PWR ved Quinshan nær Shanghai samt to

nyligt idriftsatte, fransk leverede 900 MWe PWR-reaktorer ved Daya Bay i Guangdong provinsen nær Hong Kong. De ambitiøse langtidsplaner forudsiger en kapacitet på 40.000 MWe i år 2015 og 150.000 MWe i år 2050. Ud over udbygning af Qinshan med egne 600 MWe reaktorer har centralregeringen godkendt planer for to andre værker (10 x 1000 MWe) alene i Guangdong provinsen, hvortil kommer planer for flere andre sydlige og østlige provinser. I alt forventes 8000 MWe at være under bygning i år 2000, til dels med import af vestlig teknologi. En 200 MWt fjernvarmereaktor i Nordkina ventes driftsklar i 1998. Kina har selv uran og berigningsanlæg. Man stiler mod at beherske alt vedrørende brændselskredsløbet og vil bl.a. udskifte diffusionsberigningsanlæggene med mere energioekonomisk centrifugeteknik. Forskningsprogrammet omfatter både formerings- og højtemperaturreaktorer samt en fusion-fission reaktor. Der synes dog at ligge mange sten på vejen (teknologiske, finansielle, politiske). Alligevel mener man også at kunne magte eksport af kernekraftværker til Pakistan og Iran.

Indien

Indien startede for 25 år siden med 2 x 210 MWe BWR (General Electric), men gik derefter over til at bygge 220 MWe CANDU-reaktorer med henblik på udnyttelse af egne forekomster af uran og thorium. Canada trak sig ud af samarbejdet efter den indiske atomprøvesprængning i 1974, og siden har man i Indien videreudviklet CANDU-reaktoren i en speciel indisk version. I alt 9 reaktorer på 1720 MWe er i drift. Udnyttelsesfaktoren er lav, og reaktorerne dækker under 2% af elforbruget. Sikkerheden på Rajasthan-1 er ifølge canadiske eksperter foruroligende lav. Yderligere ca. 4000 MWe er under bygning eller planlagt, heraf fire 500 MWe enheder. Men man har store tekniske og økonomiske vanskeligheder og kan ikke få megen hjælp udefra p.g.a. Indiens afvisende holdning til ikke-spretningsaftalen og IAEA-kontrol samt den langsomme liberalisering af finansieringsvilkårene.

Pakistan

Pakistan har en 125 MWe CANDU-reaktor i drift og en 300 MWe PWR, der leveres af Kina, er under opførelse. Problemerne i forhold til ikke-spretningsaftale og IAEA-kontrol er de samme som for Indien.

Sydafrika

Sydafrika har et 10 år gammelt kernekraftværk med 2 x 922 MWe PWR, som dækker ca. 5% af elforbruget. Endvidere har man eksport af naturligt og beriget uran.

Andre lande

En række andre lande er potentielle kernekraftlande.

Indonesien har deltaget i Westinghouses AP-600 projekt og overvejer at indkalde tilbud på det første anlæg.

Thailand overvejer en plan for bygning af 6 enheder á 1000 MWe.

Nordkorea har fået løfte fra USA om 2 letvandsreaktorer á 1000 MWe til gengæld for at stoppe deres plutoniumproduktion.

Iran vil bygge to 300 MWe PWR-enheder af Qinshan typen samt færdiggøre de to beskadigede, ufuldendte 1200 MWe reaktorer, som Siemens indstillede arbejdet på i 1979.

Australien har ingen kernekraft, men eksporterer ligesom en række afrikanske lande (Gabon, Niger, Namibia) uran.

5.3 Frankrig, Tyskland, Storbritannien

Frankrig

Frankrig har 56 reaktorer i drift med en samlet effekt på 60.000 MWe. De første reaktorer, der blev bygget i Frankrig, var gaskølede og grafitmodererede, men fra 1970 og fremefter har man udelukkende satset på trykvandsreaktorer. De er bygget af det statslige selskab Framatome, i begyndelsen på Westinghouse licens, men senere som rent franske typer. Enhedstørrelsen har været stadig stigende, man taler om 900 MWe, 1300 MWe og 1500 MWe serierne. Den første af sidstnævnte, Chooz-B1, forventes idriftsat i 1995. Den vil blive verdens største PWR-enhed.

Driften af reaktorerne varetages af det statslige selskab, Electricité de France (EdF). Den voldsomme udbygning med kernekraft i Frankrig har fundet sted uden større folkelig modstand og giver nu en billig elektricitetsforsyning med en betydelig eksport til nabolandene. Det vil formentlig give Frankrig en særstilling inden for EU, når og hvis energimarkedet stilles frit, og især hvis kernekraft friholdes for en energiafgift til kompensation for CO₂-afgift.

Med det tredje statslige selskab, COGEMA, til fremstilling af reaktorbrændsel og oparbejdning af brugt brændsel på anlægget i la Hague, er den statslige kontrol af kernekraften i Frankrig total. Der har gentagne gange i skiftende regeringer været tale om at privatisere Frankrigs nukleare industri, især Framatome, men indtil videre er dette ikke sket.

Frankrigs politik, hvad angår behandling af det brugte brændsel, er helt klart en satsning på oparbejdning/genbrugs linien. Anlægget i la Hague oparbejder brændslet, såvel Frankrigs eget som et stort antal udenlandske kunders, og en ny brændselsfabrik, Melox de Marcoule, der er igangsat i år, fremstiller såkaldt MOX brændsel (Mixed OXides), hvor det udvundne plutonium anvendes i stedet for beriget uran.

Bestræbelserne på at udnytte uranressourcerne bedre og nedbringe mængden af højaktivt affald har også medført en udvikling og bygning af hurtige reaktorer, Phenix og Superphenix.

Superphenix (1200 MWe) har været nedlukket i flere år p.g.a. problemer i natriumkredsløbene, men står nu umiddelbart foran en genoptagelse af driften. Reaktoren skal fremover køres som "plutonium-brænder" snarere end som "plutonium-producent", for at understøtte den franske affaldspolitik, en driftsform, der i øvrigt ikke passer Superphenix-projektets tyske og italienske samarbejdspartnere.

Tyskland

Tyskland har 21 kraftreaktorer i drift med en samlet effekt på 24.000 MWe.

De tyske reaktorer er alle af Siemens/KWU fabrikat, og man har en blanding af trykvandsreaktorer (PWR) og kogendevandsreaktorer (BWR). En hel del reaktoranlæg er tvillingstationer med 1 PWR og 1 BWR. På den måde opnår man en større sikkerhed for, at en fejl på een af typerne ikke kræver nedlukning af begge reaktorer for en længere periode.

Driften af reaktorerne varetages af private selskaber, ofte med kommunale partnere.

Den nyere tyske kernekraftudvikling har i altovervejende grad været præget af forskellene i indstilling hos de to dominerende politiske partier, CDU og SPD.

CDU er kernekraftpositiv, mens SPD har en afvikling af kernekraften som sit erklærede mål. I de senere år har flere delstater været regeret af koalitioner af SPD og De Grønne, og dette har medført langvarige lukninger af flere kernekraftværker. I adskillige tilfælde har forbundsregeringen måttet gribe ind for at gøre en ende på sikkerhedsmæssigt ubegrundede lukninger fra delstatsministres side. I andre tilfælde har værkerne anlagt retssager mod delstatsministre.

De mest omtalte tvister har været:

- Slesvig-Holstens forhaling af sagen om revnedannelser i Brunsbüttels primærkredsløbs svejsninger.
- Hessens forhaling af godkendelse af Siemens MOX-brændselsfabrik i Hanau.
- Nedresachsens forhaling af lavaktivitetsdepotet KONRAD.

Disse sager har kostet de involverede elektricitetsselskaber mange penge, og de har medført, at elværkerne er enige om ikke at bygge flere kernekraftværker, før der er opnået et tilstrækkeligt bredt politisk grundlag for en langsigtet garanti for værkernes drift.

Forbundsregeringen har i øvrigt vedtaget to vigtige tillæg til den nukleare lov:

1. Selskaberne skal frit kunne vælge mellem geologisk deponering og oparbejdning/genanvendelse.
2. Retningslinier for godkendelse af avancerede reaktortyper (Uheld må ikke medføre konsekvenser "uden for hegnet").

Storbritannien

Storbritannien har 34 reaktorer i drift med en samlet effekt på 14.000 MWe.

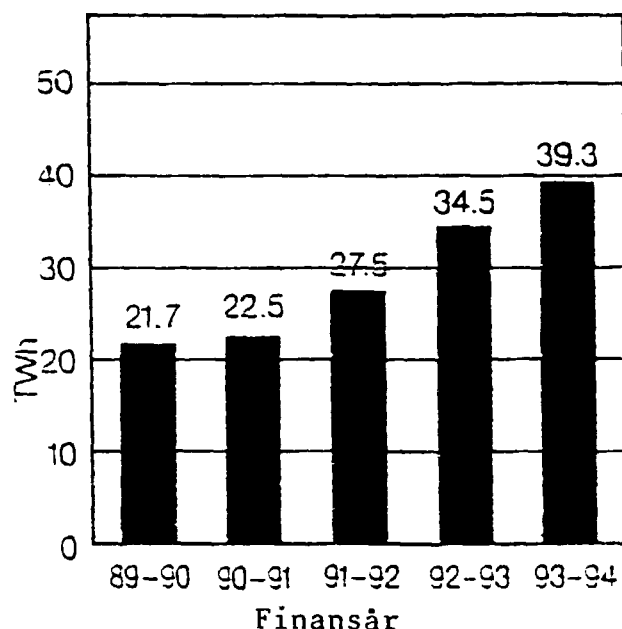
Storbritannien var meget tidligt med i udviklingen af kerneenergien. Det første kommercielle kernekraftværk, Calder Hall, var således britisk. Det blev taget i brug i 1956 og er stadig i drift.

Storbritannien har udviklet sin egen reaktortype, den gaskølede, grafitmodererede reaktor. De første af arten, Magnox-reaktorerne, har dette navn p.g.a. den legering, som blev brugt til indkapsling af uranstavene. Der er stadigvæk 20 Magnox-reaktorer i drift. De blev afløst af AGR-typen (Advanced Gascooled Reactor), som i enhedsstørrelser af 660 MWe udgør den overvejende del af Storbritanniens nukleare kapacitet. Med en meget debatteret regeringsbeslutning omkring 1987 vedtoges, at den fremtidige udbygning skal ske med trykvandsreaktorer (PWR) af eget design (en videreudvikling af Westinghouse-designet), og den første af arten, Sizewell B, er netop færdigbygget og sættes i drift i begyndelsen af 1995. Det er en 1200 MWe PWR. Byggeriet er gået planmæssigt, uden væsentlige forsinkelser.

Driften af reaktorerne varetages af to statslige selskaber, Nuclear Electric (NE) og Scottish Nuclear (SN), med hver sit geografiske område. Disse selskaber blev dannet i 1989 til afløsning af CEGB (Central Electricity Generating Board), og det har haft en klar indvirkning på driften.

Fig. 6 viser udviklingen i de senere år. NE og SN peger selv på en række faktorer, som tilsammen har æren herfor:

- Forøgelse af reaktorydelsen gennem installering af et system til måling af de enkelte kanalers effekt.
- Forbedring af systemet til brændselsudskiftning under drift.
- Nedsættelse af "ude-af-drift" tiderne (mere effektive vedligeholdelses-rutiner).



Figur 6. El-produktion fra NE's AGR.

5.4 Øvrige europæiske lande

I dette afsnit omtales udviklingen i Finland, Belgien, Holland, Schweiz og Spanien.

Finland

Finland har 4 kraftreaktorer i drift, 2 russisk-designede 440 MWe VVER-reaktorer i Loviisa ved den finske bugt (75 km øst for Helsinki) og 2 svensk-designede 710 MWe kogendevandsreaktorer i Olkiluoto ved den botniske bugt (100 km nordvest for Turku). Loviisa-reaktorerne er forsynet med sikkerhedssystemer, herunder reaktorindeslutning, efter vestlige forskrifter. Ved udgangen af 1994 havde de finske reaktorer været i drift i tilsammen 63 reaktorår. I 1993 dækkede kernekraften 32% af den finske elproduktion.

De finske elselskaber Imatran Voima Oy (IVO), som driver Loviisa-værket, og Teollisuuden Voima Oy (TVO), som driver Olkiluoto-værket, har gennem nogle år ønsket i fællesskab at bygge en femte finsk reaktor. Dette projekt blev stillet i bero efter en afstemning i det finske parlament i september 1993, som afviste projektet med 107 stemmer mod 90.

Lav- og mellemradioaktivt affald fra Olkiluoto-værket deponeres i et underjordisk anlæg i klippegrunden nær værket. Et lignende anlæg er under bygning ved Loviisa-værket. IVO og TVO har indledt undersøgelser med henblik på etablering af et finsk slutdeponi for brugt reaktorbrændsel (højradioaktivt affald). Brugt brændsel fra Olkiluoto-værket opbevares midlertidigt på værket, medens det brugte brændsel fra Loviisa-værket stadig sendes til Rusland i overensstemmelse med kontrakterne for levering af reaktorbrændsel fra Rusland til Finland. I 1994 har den finske regering imidlertid bebudet, at den ønsker at ændre politik på området, så alt brugt reaktorbrændsel fra de finske værker efter 1996 skal opbevares og senere slutdeponeres i Finland.

Belgien

Belgien har 7 kraftreaktorer i drift, 4 i Doel (10 km nordvest for Antwerpen) på 400, 400, 900 og 1010 MWe, og 3 i Tihange (30 km sydvest for Liege) på 870, 900 og 1020 MWe. Det er alle trykvandsreaktorer leveret af Westinghouse eller Framatome i samarbejde med belgisk industri. Belgiske firmaer har leveret mere end 85% af udstyret til landets nukleare anlæg. Ved udgangen af 1994 har de belgiske kraftreaktorer tilsammen været i drift i 103 reaktorår. I 1993 tegnede kernekraften sig for 59% af den belgiske elproduktion.

Der er ikke udsigt til, at der foreløbig bygges flere kernekraftværker i Belgien, efter at regeringen i 1988 standsede planerne om en ny 1430 MWe reaktor i Doel. I stedet udbygges elforsyningen gennem belgisk medejerskab i 2 franske reaktorer, Chooz-B1 og Chooz-B2, som begge er på 1430 MWe og ventes i drift i 1996. Den indenlandske elproduktion udbygges med værker fyret med fossile brændsler, primært gas.

I Belgien produceres såkaldt MOX-reaktorbrændsel (mixed uran/plutonium oxid), hvor uran og plutonium recirkuleres efter oparbejdning af brugt brændsel. I 1993 fik det belgiske elselsskab Electrabel tilladelse til kommerciel brug af MOX-brændsel, som fabrikeres af selskabet Belgonucleaire. Det belgiske selskab har indtil nu produceret hovedparten af det MOX-brændsel, der er blevet recirkuleret i reaktorer i Frankrig, Tyskland og Schweiz.

Holland

Holland har 2 kraftreaktorer i drift, Dodewaard (20 km sydvest for Arnhem), som er en kogendevandsreaktor på 58 MWe, og Borssele (80 km sydvest for Rotterdam), som er en trykvandsreaktor på 480 MWe. De 2 reaktorer har tilsammen været i drift i 47 reaktorår. I 1993 tegnede kernekraften sig for 5% af den hollandske elproduktion. Den lave kernekraftandel hænger sammen med, at Holland i en årrække har udnyttet sine store naturgasforekomster i energiforsyningen.

I de senere år er der opstået fornyet interesse omkring den nu 25 år gamle Dodewaard-reaktor, fordi den er forsynet med et kølesystem med naturlig cirkulation, som minder om det system, der foreslås i General Electrics nye Simplified Boiling Water Reactor (SBWR). Dodewaard-reaktoren og hollandske forskningsinstitutioner indgår i et internationalt samarbejde om udvikling af kogendevandsreaktorer med naturlig cirkulation.

Schweiz

Schweiz har 5 kraftreaktorer i drift, 2 trykvandsreaktorer på hver 364 MWe ved Beznau (30 km nordvest for Zürich), 1 trykvandsreaktor på 990 MWe ved Gösgen (40 km vest for Zürich), 1 kogendevandsreaktor på 372 MWe ved Mühleberg (10 km vest for Bern) og 1 kogendevandsreaktor på 1045 MWe ved Leibstadt (40 km nordvest for Zürich). Ved udgangen af 1994 havde de 5 reaktorer tilsammen været i drift i 99 reaktorår. I 1993 tegnede kernekraften sig for 38% af elproduktionen i Schweiz.

I 1990 indførtes et 10-årigt moratorium for bygning af nye kernekraftværker i Schweiz, men det indgår i regeringens energipolitik frem til år 2000, at de nuværende kraftværker i perioden 1990-2000 opgraderes, så deres effekt tilsammen forøges med 10%.

I 1994 har det schweiziske parlament godkendt planerne for et nyt mellemlager for radioaktivt affald, der skal etableres ved Paul Scherrer Institutet (PSI) ved Würenlingen. PSI har hidtil mellemlagret lav- og mellemradioaktivt affald, men i det nye lager, som ventes klar i 1998, skal der også mellemlagres højradoaktivt

affald, som Schweiz får tilbage fra opbejdningsanlæg i Storbritannien og Frankrig. Slutdeponering af radioaktivt affald i Schweiz forventes først at skulle finde sted fra omkring år 2005 for lav- og mellemaktivt affald og fra omkring år 2020 for højaktivt affald.

Spanien

Spanien har 9 kraftreaktorer i drift med en samlet installeret effekt på 7400 MWe. 2 ældre reaktorer, Jose Cabrera (PWR på 160 MWe) og Santa Maria de Garona (BWR på 460 MWe) blev idriftsat i henholdsvis 1969 og 1971. De øvrige 7 (6 PWR og 1 BWR) blev idriftsat i løbet af 1980'erne. Den nyeste trykvandsreaktor (Trillo-1 på 1066 MWe) blev leveret af KWU, de øvrige af Westinghouse. Kogendevandsreaktorerne er leveret af General Electric. En 496 MWe gaskølet reaktor (Vandellos-1) blev idriftsat i 1972 og nedlukket i 1990. Siden 1982 har Spanien haft et moratorium for bygning af nye kernekraftværker. 5 enheder, som var under opførelse, er ikke bygget færdig. I 1993 tegnede kernekraften sig for 35% af elproduktionen i Spanien.

En del af det uran, der anvendes i de spanske kernekraftværker, udvindes i indenlandske uranminer.

6 Udviklingstendenser inden for forskellige reaktortyper

6.1 Trykvandsreaktorer (PWR)

Trykvandsreaktoren (PWR, Pressurized Water Reactor) er en af de ældste og mest gennemprøvede reaktortyper i verden i dag. Den anvender almindeligt vand (teknisk betegnelse "let vand") som både kølemiddel og moderator. Vandet opvarmes i reaktoren under så højt et tryk, at det ikke koger på trods af opvarmningen. Varmen fra dette vand overføres i såkaldte dampgeneratorer, som er anbragt nær reaktoren, til et sekundært vandkredsløb. Vandet i det sekundære kredsløb bringes i kog i dampgeneratorerne, og turbinerne drives med dampen herfra.

Rundt om i verden findes over 240 trykvandsreaktorer i drift, hvilket udgør mere end halvdelen af alle idriftværende kraftreaktorer i dag.

Udbygning med nye PWR-anlæg foregår primært i det fjerne østen. Som eksempel kan nævnes, at der i januar 1994 af interesserede reaktorkonsortier kunne afgives tilbud til Taiwan om bygning af to trykvandsreaktorer, hver på 950-1350 MW elektrisk effekt (MWe). Tre vestlige reaktorkonsortier afgav tilbud, og disse konsortier giver et billede af, hvor i den vestlige verden trykvandsreaktoren er blevet videreudviklet både med hensyn til driftssikkerhed og sikkerhed mod ulykker. De tre konsortier var:

1. Det ABB-ejede, amerikanske firma Combustion Engineering, hvis reaktordesign, System 80+, i august 1994 har fået de amerikanske sikkerhedsmyndigheders endelige godkendelse. Denne godkendelse kom næsten samtidig med, at de amerikanske sikkerhedsmyndigheder godkendte en anden, avanceret reaktortype, nemlig General Electric's avancerede kogendevandsreaktor, ABWR.
2. Et konsortium bestående af det amerikanske firma Westinghouse i samarbejde med det engelske Nuclear Electric. Deres konstruktion er baseret på den i

1994 færdiggjorte, engelske PWR, Sizewell B. Med denne konstruktion er der altså tale om den første avancerede trykvandsreaktor i verden, som ikke alene er konstrueret, men faktisk er blevet færdigopført og nu kan begynde at producere elektricitet.

3. Det fransk-tyske firma Nuclear Power International (NPI), et samarbejde mellem det franske Framatome og det tyske Siemens, som i fællesskab har udviklet EPR-reaktoren, European Pressurized water Reactor. Efter at de to landes reaktorsikkerhedsmyndigheder i 1992 besluttede at udarbejde et fælles sæt af sikkerhedskrav, håber NPI på inden længe at opnå fælles godkendelse af denne reaktorkonstruktion i Frankrig og Tyskland.

I forbindelse med et sådant tilbud på bygning af nye reaktorer har det været væsentligt, at de reaktorer, der afgives tilbud på, er blevet godkendt eller naturligvis endnu bedre er blevet bygget i de respektive firmaers hjemlande.

De ovenfor nævnte reaktorkonstruktioner er af den slags, som kaldes evolutionære, avancerede PWR'er. Når de bærer dette navn, er det fordi de repræsenterer det sidste skridt i en stadig forbedring, både ydelsesmæssigt og sikkerhedsmæssigt, af den gennemprøvede PWR-teknologi.

En anden vej at gå end stadig at udbygge sikkerhedssystemerne for herigennem at øge sikkerheden ved et kernekraftværk er at simplificere konstruktionen og i højere grad basere sikkerheden på passive sikkerhedssystemer, som virker "af sig selv", så som cirkulation, drevet af tyngdekraften, herunder naturlig konvektionskøling. Et PWR design af denne type er den amerikanske AP600 fra Westinghouse, hvis udvikling støttes finansielt af den amerikanske stat.

En helt tredje vej at gå er fundamentalt at ændre PWR-konstruktionen efter den filosofi, at det skal kræve aktivt indgreb at få reaktoren til at producere varme og dermed elektricitet, medens den, "overladt til sig selv", alene på grund af tyngdekraften går i stå. Herefter vil konvektionskøling, som det ikke er muligt at blokere for, sørge for borttransport af restvarmen, der efter nedlukningen stadig vil afsættes i reaktorkernen. Et eksempel på en sådan, som kan kaldes en evolutionær avanceret PWR, er ABB's PIUS reaktor.

I det følgende vil den evolutionære, avancerede PWR blive betragtet.

Et grundlæggende mål er at reducere den beregnede risiko for en kernenedsmeltning til under 10^{-5} pr. reaktorår. Endvidere at sikre integriteten af reaktorindeslutningen både på kort og lang sigt i tilfælde af, at en kernenedsmeltning alligevel skulle ske. I en sådan situation skal der være sikkerhed for den tilstrækkelige køling af den smeltede kerne, således at den bliver inde i reaktorindeslutningen, og ingen radioaktivitet vil slippe ud til omgivelserne. Der vil derfor heller ikke blive behov for nogen form for evakuering i reaktorens omegn. Som indikation af, at dette vil være muligt tjener, at der ved uheldet på Tremileø-reaktoren (en PWR) i 1979 skete nedsmeltning af ca 45% af reaktorkernen uden at denne smeltede igennem reaktortanken og uden noget nævneværdigt udslip af radioaktive stoffer til omgivelserne.

Af særlige sikkerhedssystemer på de evolutionære, avancerede PWR'er kan nævnes:

En dobbelt reaktorindeslutning, der har til formål, at den ydre kan beskytte den indre mod voldsomme påvirkninger udefra, f.eks. et nedfaldende fly. Mellemrummet mellem de to indeslutninger kan endvidere i tilfælde af en lækage i den indre indeslutning ventileres gennem et filtersystem, således at stort set ingen radioaktivitet vil kunne nå ud til omgivelserne.

Reaktorhallen er forsynet med et antal systemer, som sørger for, at en eventuel brintansamling løbende "brændes af", således at der aldrig under et alvorligt uheld vil kunne samle sig så meget brint i indeslutningen, at der opstår fare for en alvorlig eksplosion.

Reaktorerne er endvidere forsynet med fire helt uafhængige og rumligt adskilte nedlukningssystemer, der hver for sig er tilstrækkelige til at sikre en kontrolleret nedlukning og restkøling af reaktoren.

Denne nye generation af reaktorer er forsynet med digital styring og regulering. Men væsentlige sikkerhedssystemer er desuden forsynet med traditionelle, individuelt trådførte signalkabler for at undgå, at en fælles fejl i digitalelektronikken skal kunne sætte sikkerhedssystemerne ud af funktion.

Dampgeneratorerne i de tidlige PWR'er har vist sig at være det svage led i denne konstruktion, idet der her er sket en del korrosionsskader. Efter en række års forløb har det derfor været nødvendigt, under stort besvær og store udgifter, at skære hul i indeslutningen for her igennem at kunne skifte dem ud og dermed sikre værket fortsatte drift. I de nye, avancerede PWR'er er indeslutningerne forsynet med kæmpemæssige "lemme", hvorigennem en eventuel udskiftning af dampgeneratorerne vil kunne finde sted.

6.2 Kogendevandsreaktorer (BWR)

Udviklingstendenserne inden for kogendevandsreaktorer har i de seneste år fulgt to linier nemlig ABWR, den avancerede kogendevandsreaktor og SBWR, den simplificerede kogendevandsreaktor.

ABWR-reaktoren på 1300 MWe, som er en General Electric (GE) konstruktion, virker ikke væsentlig mere avanceret end en moderne svensk BWR af ABB-design. De forskellige systemer er baseret på konventionel teknik, og passive systemer er kun anvendt i enkelte tilfælde. Set med amerikanske øjne er der imidlertid tale om et avanceret design sammenlignet med de i USA eksisterende BWR-reaktorer. Således har de nukleare myndigheder i USA, NRC, netop givet en typegodkendelse af ABWR efter flere års undersøgelser.

I Japan er to ABWR-reaktorer af GE-design under opførelse, Kashiwazaki-6 og -7, som er planlagt at skulle starte i 1996 og 1997.

SBWR-reaktoren på 600 MWe er også en GE-konstruktion. Det karakteristiske ved SBWR-reaktoren er en udstrakt anvendelse af passive systemer, f.eks. i form af naturlig cirkulation i hovedkredsløbet og langt færre pumper end i normale BWR-reaktorer. Reaktoren har også lavere effektivitet, og vandmængden, både under drift og til nødkøleformål, er meget stor. Endelig er vandtankene anbragt således, at man i vid udstrækning kan benytte tyngdekraften som drivkraft.

SBWR-designet er endnu ikke godkendt af de amerikanske nukleare myndigheder, men det ventes at ske inden for de kommende to år, således at SBWR efter år 2000 kan blive et alternativ til de eksisterende reaktorer.

Endelig har to japanske firmaer også simplificerede kogendevandsreaktorer under udvikling; det drejer sig om Hitachis SBWR på 600 MWe og Toshiba's SBWR på 300 MWe. Begge reaktorer bygger på anvendelse af passive systemer, og Hitachis minder om GE's SBWR. Ingen af de japanske SBWR'er er endnu blevet godkendt af de japanske myndigheder.

6.3 Hurtigreaktorer

Den hurtige reaktor har den væsentlige fordel fremfor andre reaktortyper, at den langt bedre kan udnytte verdens uran- og thoriumressourcer. Til gengæld har denne reaktortype haft svært ved at blive økonomisk konkurrencedygtig med letvandsreaktorerne. Derfor er den stadig på udviklingsstadiet.

I en årrække er der i USA foregået en udvikling af den såkaldte Advanced Liquid Metal Reactor (ALMR). Denne reaktortype har en række attraktive egen-

skaber. Det er en hurtig reaktor, hvilket betyder, at reaktoren kan udnytte alle forekomster af uran og thorium. Som følge heraf vil den energi, der kan produceres pr. kg uran, være en faktor 100 højere end for termiske reaktorer. Udnyttet i hurtige reaktorer udgør verdens uranressourcer en større energireserve end verdens kulforekomster.

ALMR har endvidere nogle attraktive sikkerhedsmæssige egenskaber. F.eks. kan anlægget tolerere et øjeblikkeligt stop af alle kølepumper og en samtidig, utilsigtet udkørsel af kontrolstængerne. Anlægget begrænser selv effekten til et lavt niveau uden indgreb fra operatørens side, og den passive køling vil være tilstrækkelig til at undgå brændselsskader.

Endelig anvender ALMR en ny form for brændelseskredsløb, hvor oparbejdning af det bestrålede brændsel skal foregå på selve anlægget. Det producerede plutonium og andre tunge atomkerner med lang levetid udskilles fra fissionsprodukterne med høj effektivitet (op til 99,99%) og føres tilbage i reaktoren, hvor de spaltes og omdannes til fissionsprodukter med væsentlig kortere levetid. Derved bliver mængden af langlivet radioaktivt affald væsentligt reduceret.

Ingen anden reaktortype har samtidig alle disse egenskaber.

Der har i de sidste 2 år været uenighed i den amerikanske kongres om bevilgninger til færdigudvikling af ALMR. Denne strid kulminerede i sommeren 1994, hvor Kongressen fulgte den amerikanske regerings ønske om at standse ALMR-projektet. Baggrunden for den amerikanske regerings holdning er dens ønske om at standse enhver form for oparbejdning af reaktorbrændsel for at mindske risikoen for spredning af kernevåben.

I Storbritannien leverede Prototype Fast Reactor anlægget (PFR) i Dounreay i Skotland den sidste energi til det skotske el-net den 31. marts 1994. Anlægget har efter 20 års drift udfyldt sin rolle inden for udviklingen af hurtige reaktorer. Det oprindelige mål var at kunne udbrænde brændslet op til 7,5%, men i juli 1988 var man nået op på en udbrænding på 20%. Det betyder, at udgifterne til brændelseskredsløbet reduceres med 40%. Det har i praksis vist sig, at kredsløbene med flydende natrium kræver mindre vedligeholdelse end vandkredsløbene. Anlægget har dog også haft sine vanskeligheder med lækager i natriumkredsløbene.

I Frankrig blev verdens største formeringsreaktor, Superphenix, som er en natriumkølet hurtigreaktor på 1280 MWe, startet op i 1986. Imidlertid blev anlægget lukket ned i 1990, da der var trængt atmosfærisk luft ind i reaktorsystemet, hvorved dette blev kemisk forurenset. Samtidig med oprensningen af natriumkredsløbet blev der arbejdet med at løse de problemer, der i 1987 var opstået med lagertromlen for brugt brændsel. I 1992 var reparationerne tilendebragt, men den franske regering besluttede at udskyde opstarten, indtil omfattende, nye forholdsregler mod natriumbrand var gennemført. Disse forholdsregler var gennemført i april 1994, og den 4. august begyndte opstarten til en ny driftsperiode. Superphenix vil i fremtiden først og fremmest blive brugt til at "brænde" plutonium og andre tunge og langlivede atomkerner (transuraner).

Sovjetunionen havde i mange år et par natriumkølede, hurtige reaktorer i drift. BN-350 blev startet op i 1972 og BN-600 i 1980. Begge reaktorer har udvist stor driftspålidelighed, og BN 600 (600 MWe) er således den største hurtigreaktor, der har været i regelmæssig drift i en længere årrække. BN-350 ligger i dag i Kazakstan, mens BN-600 ligger i Rusland.

I Japan er den hurtige reaktor Monju under afprøvning, og den forventes at levere den første energi til el-nettet i april 1995. Egentlig kommerciel drift forventes fra december 1995. Reaktoren er en prototype på 280 MWe. Japan er indstillet på at bygge en generation af hurtigreaktorer for på længere sigt at gøre sig uafhængig af uranforsyninger udefra. Programmet er imidlertid en del forsinket, hvorfor en egentlig ny generation af hurtige reaktorer først vil være til rådighed et stykke ind i næste århundrede.

6.4 Tungtvandsreaktorer

Tungt vand (D_2O), er vand, hvor brintatomkernerne består af en proton og en neutron. D_2O er et effektivt moderatormateriale med ringe tilbøjelighed til at indfange neutroner.

Dette gør, at reaktorer, der modereres med D_2O , dels kan drives med naturligt (uberiget) uran, dels kan udnytte uranet effektivt, d.v.s. producere megen energi pr. kg naturligt uran.

Det er især Canada, der har udviklet og fastholdt tungtvandslinien.

Den canadiske reaktor, CANDU (CANadian Deuterium Uranium), er både kølet og modereret med D_2O i en ret enestående reaktorkonstruktion, hvor det varme kølemiddel (og uranbrændslet) er indeholdt i vandrette trykrør, der er adskilt fra den kolde moderator ved koncentriske kalandriarør.

Brændselsudskiftning sker under drift, hvilket bidrager både til den gode udnyttelse af brændslet og til en stor driftstilgængelighed (kortere nedlukningsperioder).

Canada har ikke blot bygget reaktorer til landets eget brug, men også eksporteret dem til en række lande (Argentina, Korea, Indien, Pakistan og Rumænien).

Til brug i kapløbet om markedet for fremtidige, mindre reaktorer tilbyder Canada nu typen CANDU-3 på 450 MWe, der i forhold til den hidtidige eksportmodel, CANDU-6 på 665 MWe, er noget enklere i opbygning og antal komponenter, samt i højere grad baseret på fabriksfremstillede dele.

Dette, sammen med en modularisering af selve bygningerne (præfabrikerede moduler á max. 500 tons) sikrer en kort byggeperiode og en høj garanti mod fejl, og dermed en pris, der gør den konkurrencedygtig med større CANDU-enheder.

Sikkerhedsmæssigt indeholder CANDU-3 ikke væsentlige nyskabelser. Dens største handicap er stadig den positive void-koefficient, der gør, at et brud på kølesystemet vil medføre en effektstigning. Den nødvendige sikkerhed tilvejebringes ved to uafhængige hurtignedlukningssystemer.

6.5 Gaskølede reaktorer

Den gaskølede reaktor benytter, som navnet siger, en gas (CO_2 eller He) som kølemiddel. Som moderator benyttes sædvanligvis grafit, men også tungt vand har været benyttet.

Storbritannien var det første land, som målrettet satsede på en udbygning med kernekraft med gaskølede, grafitmodererede reaktorer. Det første kraftværk blev sat i kommerciel drift i 1956 (Calder Hall på 4 x 60 MWe).

Den første generation af disse reaktorer kørte på naturligt uran, mens senere versioner kræver beriget uran (2-3% ^{235}U).

Storbritannien er for tiden det eneste land, som i større omfang udnytter de gaskølede reaktorer i sin energiforsyning. I de øvrige lande, som har bygget gaskølede reaktorer, har der været tale om få reaktorer, som nu er nedlukket eller snart vil blive det.

Storbritannien har i dag 20 reaktorer af første generation (de såkaldte Magnox-reaktorer) og 14 reaktorer af næste generation, AGR (Advanced Gascooled Reactor), i drift. Den nukleare andel af elproduktionen er præget af, at reaktorerne er temmelig små (60-660 MWe), således at det nukleare bidrag til elproduktionen kun er på ca. 25%.

Udbygningen i Storbritannien har i øvrigt været præget af budgetoverskridelser, tekniske problemer og forsinkelser. Hertil kommer, at driftspålideligheden især for AGR'erne har været dårlig.

I 1990'erne er driftspålideligheden væsentligt forbedret således, at de engelske

AGR-anlæg i dag er blandt de bedste i verden. De ældste reaktorer, som har passeret den oprindeligt projekterede levetid på 30 år, har gennemgået en såkaldt langtids-sikkerhedsgennemgang, og værkerne Bradwell, Calder Hall og Chapel-cross har fået forlænget driftstilladelsen med 10 år. Hovedproblemet har været den neutroninducerede reduktion i ståltankens sejhed. Af sikkerhedsmæssige årsager er i alt 6 reaktorer (fordelt på 3 værker - Berkeley, Hunterston A og Trawsfynydd) lukket endeligt ned. Den engelske regering har nedsat en kommission, som skal analysere kernekraftens rolle i den fremtidige energiforsyning, herunder en eventuel privatisering.

Udviklingen af den såkaldte gaskølede højtemperatur reaktor har primært fundet sted i USA med prototypen Fort St. Vrain som det sidste trin. Dette værk har været præget af mange tekniske problemer, og er nu endeligt lukket ned. Den amerikanske regering har fremsat forslag om at stoppe de føderale bidrag til den videre udvikling af denne reaktortype, men en endelig beslutning herom er endnu ikke truffet.

Også i Tyskland har der været arbejdet med den gaskølede højtemperatur reaktor.

7 Udviklingstendenser inden for brændselskredsløbet

7.1 Uranproduktion og -pris

Der produceres uran i omkring 25 lande, men 90% af produktionen finder sted i Canada (28%), Niger (9%), Kazakhstan (8%), Uzbekistan (8%), Rusland (7%), Australien (7%), Frankrig (5%), Sydafrika (5%), Namibia (5%), USA (4%) og Ukraine (3%).

Gennem de sidste 5 år har der været kraftige nedskæringer i næsten alle dele af uranindustrien på grund af massiv over-forsyning af uranmarkedet. Dette har ført til de laveste uranpriser nogensinde. Forholdene er blevet kompliceret af sammen-smeltningen af de to markeder: Det tidligere USSR-kontrollerede marked og det tidligere såkaldte WOCA-marked (WOCA står for "World Outside Centrally planned economics Area"). Uran produceret i det tidligere USSR er blevet solgt på verdensmarkedet, hvilket har udløst lovmæssige og politiske initiativer i EU og USA for at stabilisere markedet og beskytte WOCA-producenterne. Højt beriget uran fra nukleare våben er i disse år blevet overført til brug i kernekraftværkerne i den civile sektor.

Verdens uranproduktion er således faldet fra ca. 50.000 tU i 1990 (heraf 28.000 t i WOCA-lande) til ca. 34.000 tU i 1993 (heraf ca. 22.000 t i WOCA-lande), dvs. et fald på 31%, dog kun 16% i WOCA-landene.

Til belysning af markedssituationen kan anføres, at behovet for uran til drift af verdens kernekraftværker var 58.400 t uran i 1993.

Forskellen mellem forbrug og produktion dækkes af reduktion af lagerbeholdningerne. USA og EU har reduceret deres lagerbeholdninger af uran med 70.000 t i perioden 1988-1993. Lagerbeholdningerne i WOCA-lande opgøres pr. januar 1994 til 130.000 t uran.

Uranprisen på spotmarkedet baseres sædvanligvis på NUEXCO-prisen (NUclear EXchange COporation). I 1990 var NUEXCO-prisen 25\$ pr. kg uran som gennemsnitlig spotmarkedspris, faldende til 21\$ pr. kg uran i 1993; for lande uden importrestriktioner var den gennemsnitlige spotmarkedspris i 1993 dog kun 19\$

pr. kg uran.

Uranpriser på langtidskontrakter er generelt ikke offentligt tilgængelige. En indikation fås af følgende tal, som dog afspejler en blanding af spot-priser og langtidskontrakt-priser i 1992:

| | |
|--------------------|------------------|
| Australien | 44\$ pr. kg uran |
| Canada | 49\$ pr. kg uran |
| USA egenproduktion | 36\$ pr. kg uran |
| USA import | 30\$ pr. kg uran |
| Euratom | 64\$ pr. kg uran |

NUEXCO har oplyst at 9600 t uran blev solgt under spot-markedsprisen i 1993.

7.2 Berigning

Der er 4 hovedleverandører af berigningsservice, d.v.s. produktion af beriget uran ud fra naturligt uran:

| | |
|---------|---------------------------------------|
| US DOE | (USA's Department of Energy) |
| Eurodif | (Frankrig) |
| Urenco | (UK, Holland og Tyskland) |
| Minatom | (Ruslands ministerium for kernekraft) |

Andre leverandører er CNEIC (Kina), JNFL (Japan) og AEC (Sydafrika).

Berigningsmetoderne er gasdiffusion (US DOE, Eurodif, CNEIC), gascentrifugering (Minatom, Urenco, JNFL), og Helicon-jet-dyse (AEC).

I USA, Rusland, Japan, Sydafrika og Frankrig udvikles i disse år en laser-gasseparations-metode, som ser ud til at blive billigere end de eksisterende metoder, og som anses for at blive den bedst egnede metode til berigning af oparbejdet uran fra brugte nukleare brændselementer. Det er dog endnu usikkert om metoden bliver pålidelig i industriel skala.

Behovet for berigning var i 1993 30 millioner SWU (Separative Work Unit, enhed for berigningsarbejde), hvilket kun var ca. 68% af berigningskapaciteten på verdensplan. Dette pressede prisniveauet for berigning ned fra en kontraktpris på 125\$ pr. SWU til en spotmarkedspris på 65-71\$ pr. SWU. Laser-baseret berigning forventes at reducere prisen til mellem 21 og 45\$ pr. SWU.

Forudsætningen for berigningsanlæggenes arbejde er kapaciteten af konverteringsanlæggenes. På disse anlæg produceres uran hexafluorid (UF_6) fra "yellow cake" (U_3O_8), der leveres af uranminerne. UF_6 er den form, uranet findes i under berigningen. Efter berigningen skal UF_6 konverteres til f.eks. urandioxyd UO_2 , som anvendes i kernekraftværkernes brændselementer.

Konverteringsbehovet for 1993 var omkring 50.000 t uran. Verdenskapaciteten er 57.890 t uran pr. år.

Konverteringsprisen har været stigende til ca. 6\$ pr. kg uran i 1993.

7.3 Oparbejdning eller direkte deponering af brugt brændsel

Ønskværdigheden af oparbejdning af brugt uranbrændsel er et kontroversielt emne. Økonomisk er der på kort sigt næppe meget at hente med de nuværende lave uranpriser. Motivationen er snarere langsigtede ønsker om mere effektiv udnyttel-

se af uranressourcerne knyttet til brug af MOX-brændsel i almindelige reaktorer og udvikling af formeringsreaktorer. Et rent teknisk forhold, som at engelsk Magnox-brændsel kun lader sig mellemlagre en kortere periode i vand, er også væsentligt. Ved oparbejdning efter de nuværende principper opnås en vis reduktion af langtidstoxiciteten af det højaktive affald. En meget effektiv kemisk adskillelse af de indeholdte stoffer er en forudsætning for transmutteringskonceptet (se afsnit 7.5), og der udfoldes i disse år betydelige bestræbelser for at finde mere effektive og selektive ekstraktionsmetoder for transuraner m.m.

I Europa er det navnlig Frankrig og Storbritannien, der går ind for oparbejdning, og som har foretaget meget store investeringer i anlæggene la Hague og Sellafield.

I 1994 har British Nuclear Fuels Ltd. (BNFL) efter omfattende offentlige høringer fået de engelske myndigheders tilladelse til at tage det nye THORP-anlæg i Sellafield i brug. Forsøg på via domstolene at standse ibrugtagningen er blevet afvist. På THORP vil der på kommerciel basis blive oparbejdet brugt brændsel også fra udlandet, f.eks. fra Japan. THORP, der har en kapacitet på op til 1800 t brændsel pr. år, betyder en meget væsentlig øgning af oparbejdningsskapaciteten på Sellafield. Samtidig er der taget nye rensningsfaciliteter i brug, så udslippene til det Irske hav ikke øges, men tværtimod reduceres yderligere i fortsættelse af tendensen fra de senere år. Et anlæg til omdannelse af højaktivt affald til borosilikat-glas efter samme princip som på la Hague i Frankrig er for nylig taget i brug på Sellafield.

I 1994 har COGEMA også udvidet kapaciteten på la Hague så de nye anlæg UP2-800 og UP3 nu tilsammen har en kapacitet på 1600 t uran pr. år. Den samlede oparbejdningsskapacitet i Europa dækker herefter behovet fra mere end 100 reaktorer, men det er ikke nok, hvis alt europæisk brændsel skulle oparbejdes.

En fransk beslutning om at gå bort fra bitumenindeslutning som metode til konditionering af mellemaktivt oparbejdningssaffald illustrerer en almindelig bestræbelse på at reducere rumfanget af oparbejdningssaffaldet, og til så vidt muligt at undgå dannelsen af mellemaktivt alfa-forurenet affald. Til formålet anvender franskmændene separationsmetoder, der opdeler affaldet i en lille mængde stærkt aktivt og en større mængde lavaktivt materiale, der så kan håndteres sammen med henholdsvis højaktivt og lavaktivt affald.

Også i Rusland udføres industriel oparbejdning på anlægget RT-1 i Tjeliabinsk. Det højaktive affald omdannes til fosfatglas. I mange lande har man valgt at se bort fra oparbejdningssmuligheden og vedtaget at bruge brændsel som sådant er affald, d.v.s. uden yderligere brugsværdi. Den stadig stigende grad af udbrænding, der kan opnås med moderne uranbrændsel, er et argument for dette synspunkt.

I USA er det imidlertid navnlig spredningsproblematik i forbindelse med frasepareret plutonium, der har motiveret den officielle afstandtagen fra oparbejdning. De forskellige holdninger til oparbejdningsspørgsmålet kan evt. give politiske problemer mellem USA og Europa.

USA's brugte brændsel oplagres i øjeblikket ved reaktorerne, men en del af disse er nu ved at mangle plads til formålet. I øjeblikket strides man juridisk om hvorvidt staten - repræsenteret ved US DOE - er forpligtiget til at overtage brugt brændsel fra 1998. Tekniske faciliteter hertil er ikke klar, men en mulig løsning er brug af såkaldte multipurpose containere (MPC), der kan bruges både til transport og mellemlagring af brugt brændsel.

I Europa er det navnlig Sverige, men også f.eks. Spanien og på det seneste til dels Tyskland, der går ind for direkte deponering af brugt brændsel. Fordelen er bl.a., at man ikke er afhængig af den meget komplekse og kostbare oparbejdningsteknologi. Desuden må man regne med, at der altid vil være visse typer brændsel, det ikke vil være muligt at oparbejde, og som derfor skal deponeres direkte.

7.4 Deponering af lav-, mellem- og højaktivt affald

Uanset om man vælger oparbejdning eller direkte deponering af det udbrændte brændsel, vil nuklear kraftproduktion føre til dannelsen af en lille mængde højaktivt affald i form af f.eks. glas eller omhyggeligt indkapslede, brugte brændselselementer. Ved drift af reaktorer, oparbejdningsanlæg, brændselsfabrikation, m.m. opstår der endvidere noget større mængder mellemaktivt og lavaktivt affald. Hertil kommer affald fra nedlæggelse af nukleare installationer samt fra drift af uranminer.

Slutdeponering af højaktivt affald i geologiske formationer er endnu ikke foretaget noget sted i verden. Årsagen er pladsvalgsproblemer og myndighedernes strenge krav til dokumentation af langtidssikkerheden. De skønnede udgifter ved deponering af højaktivt affald varierer betydeligt, men udgør kun en ringe del af værdien af den producerede elektricitet (mellem 0.5 og 1 øre/kWh).

Der er imidlertid ikke behov for hurtig deponering, idet der ikke er væsentlige tekniske problemer ved at mellemlagre højaktivt affald over lange perioder. Man kan derfor tage sig god tid til at lokalisere pladser, der er egnede til videre undersøgelser, og til at gennemføre detaljerede langtidseksperimenter i såkaldte underjordiske laboratorier.

Anlæg af denne art er i drift, f.eks. i ler i Belgien (Mol), i granit i Schweiz (Grimsel) og Canada (Manitoba) og under bygning i Sverige (Äspö). I Storbritannien foregår der undersøgelser af undergrunden ved Sellafield (granit), og i Frankrig er man også - efter mange forsinkelser - ved at indlede undersøgelser på flere lokaliteter. Et slutlager vil ikke nødvendigvis blive bygget på samme lokalitet som det underjordiske laboratorium.

Dette gælder dog ikke Tyskland, hvor de to skaktanlæg til ca. 900 m dybde i salthorsten Gorleben nu er færdige, og konstruktionen af den egentlige mine snart vil blive påbegyndt. Intentionen er at deponere højaktivt glas såvel som brugt brændsel. Et pilotanlæg til konditionering af brugt brændsel er ved at blive færdigbygget på trods af politisk modstand.

I USA koncentrerer opmærksomheden om undersøgelser af deponering af brugt brændsel i Yucca Mountain i Nevada. Formationen er speciel ved, at der er tale om dyb geologisk deponering i klippeformationer, der ikke er vandmættede. De sikkerhedsanalyser, der skal gennemføres, er derfor væsensforskellige fra f.eks. de europæiske undersøgelser af deponering i granit.

Tidshorisonten for mange af disse undersøgelser er således, at der tidligst regnes med egentlig deponering af højaktivt affald et godt stykke ind i næste århundrede.

Mellemaktivt og især transuranforurenede affald må også påregnes at skulle bortskaffes ved dyb geologisk deponering. Det samme gælder visse typer langlivet affald fra nedrivning af reaktorer. I mange tilfælde planlægges depoter i mere eller mindre umiddelbar tilknytning til anlæg beregnet til højaktivt affald. Det er f.eks. tilfældet i Sverige.

I Tyskland og måske også i fremtiden i Storbritannien går man ind for dyb geologisk deponering af alle typer radioaktivt affald. Undersøgelserne, der er i gang ved Sellafield, tager primært sigte herpå. En sådan deponering er dyr og tendensen går derfor mod at reducere affaldsrumfanget til det mindst mulige. Morsleben-saltminen i det tidligere Østtyskland er for nylig genåbnet til brug for lav- og mellemaktivt affald fra hele Tyskland.

Lageret ved det svenske kernekraftværk Forsmark, der løbende anvendes til driftsaffaldet fra de svenske reaktorer, og de to tilsvarende finske lagre i klipperne under Olkiluoto og Loviisa reaktorerne (det sidste lager er endnu under bygning), ligger for nær overfladen (ca. 50 m) til at kunne betegnes som dyb geologisk deponering.

Som et eksempel på affaldsdeponering i et land uden nuklear energiproduktion kan det nævnes, at Norge i 1994 har valgt en plads til deponering af radioaktivt affald, væsentligst hidrørende fra forskningsvirksomhed. Undersøgelser og projektering af et depot i form af en vandret minegang i klippesiden i Himdalen ca. 50 km øst for Oslo er påbegyndt.

I Frankrig (L'Aube, La Manche), Spanien (El Cabril) og Storbritannien (Drigg ved Sellafield) anvendes overfladenær deponering til lavaktivt affald. En stor del af Europas lavaktive affald er deponeret her, og denne praksis forventes fortsat i hvert fald i Frankrig og Spanien. La Manche-depotet nær la Hague oparbejdningsanlægget er dog fyldt og modtog det sidste affald i begyndelsen af 1994.

Også i USA benyttes overfladenær deponering af lavaktivt affald. Enkeltstaterne har sluttet sig sammen i grupper (compacts) der i fremtiden skal have hver sit depot, hvor de øvrige stater så ikke må deponere. De få godkendte depoter er derfor i løbet af 1994 blevet delvis lukket til stort besvær for staterne i de øvrige "compacts". Den udformning, systemet har fået, forekommer temmelig uhensigtsmæssig, men indstillingen om kun at modtage affald fra eget område er også velkendt i Europa.

I USA er oprydning efter tidligere uranudvinding gennemført på en række lokaliteter, og staten overtager herefter langtidsansvaret for depoterne. Tyskland står over for en tilsvarende problematik, idet en stor del af østblokkens uranudvinding har fundet sted i den sydlige del af det tidligere Østtyskland.

Alle lande på nær Rusland har nu accepteret London-konventionen om, at deponering af radioaktivt affald i havet ikke må finde sted. Konventionen skal genforhandles om 25 år, og Storbritannien forbeholder sig ret til at ændre indstilling hvad angår deponering af store komponenter fra nedlægning af nukleare anlæg.

Bortset fra politiske problemer, er praktisk håndtering og deponering af radioaktivt affald inde i en god udvikling i disse år. Teknisk og videnskabeligt er der ingen grund til at vente væsentlige problemer med sikker bortskaffelse af affaldet ved geologisk deponering.

7.5 Transmutation

Ved transmutation forstår man omdannelse af en atomkerne til en anden atomkerne, og specielt den type af omdannelse, der resulterer i, at langlivede, tunge kerner omdannes til kortlivede, lette kerner. Transmutation er interessant for reduktion af mængden af langlivet affald fra kraftreaktorer.

Accelerator-drevne, underkritiske "reaktorer" har i de senere år tiltrukket sig opmærksomhed i denne sammenhæng. Fig. 7 viser i skitseret form et sådant aggregat.

Man udnytter, at meget energirige protoner (1.0 GeV el. mere) ved sammenstød med f.eks. blyatomer udløser hyer af neutroner, 10-50 hurtige neutroner pr. proton. Disse neutroner anvendes som supplement til opretholdelse af en fissionskædeproces i en underkritisk reaktor.

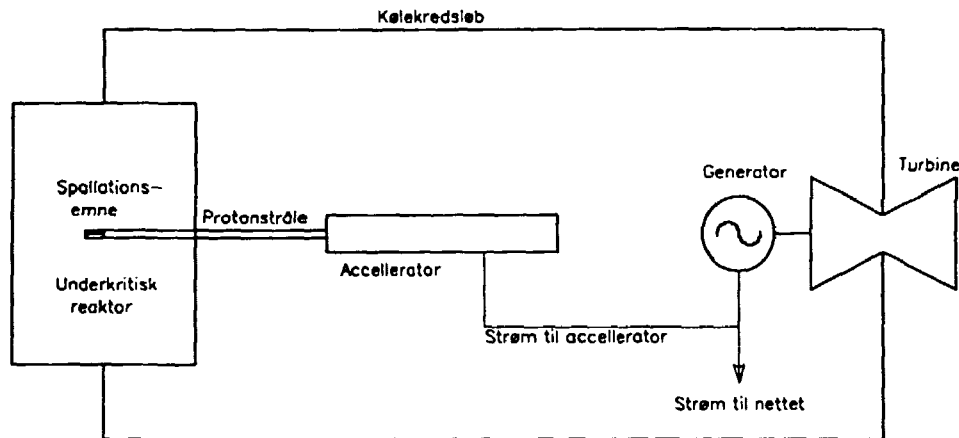
Brændslet i denne reaktor kan være alle typer af tunge kerner, f.eks. thorium, uran eller det langlivede affald fra kernekraftværker.

Dette brændsel omdannes ved fission til fissionsprodukter, der næsten alle er kortlivede (d.v.s. halveringstider fra sekunder til ca. 30 år), og derfor hurtigere bliver uskadelige.

Også "almindelige" reaktorer (og i særdeleshed hurtige reaktorer) kan anvendes til transmutationsformål.

Projekter med høj-flux tungtvandsreaktorer og hurtigreaktorer studeres forskellige steder i verden (parallelt med de acceleratordrevne reaktorer).

Det er især arbejdsgrupper i Japan (OMEGA-projektet), USA (Los Alamos og



Figur 7. Accelerator-drevet transmutationsreaktor.

Brookhaven) og Frankrig (CAPRA-projektet), der er aktive i disse affaldsreduktionsstudier.

7.6 Anvendelse af plutonium fra kernevåben

De senere års nedrustningsaftaler mellem USA og Rusland har medført, at et betydeligt antal kernevåben, ca. 30.000 sprængladninger, skal destrueres. Destruktion af kernevåben omfatter adskillelse af våbnene i deres komponenter og mekanisk eller anden destruktion af de enkelte dele, men de indeholdte spaltelige stoffer, højt beriget uran (næsten rent uran-235) eller plutonium-239, kan ikke destrueres. Da disse stoffer vil kunne genanvendes til fremstilling af nye kernevåben, er det vigtigt at undersøge, hvordan noget sådant kan undgås.

Problemet kan relativt let løses for højt beriget uran. Man kan blande dette med naturligt uran eller depleteret uran (næsten rent uran-238), således at uran-235 indholdet kommer ned under 20%. Herefter er uranet uanvendeligt som spalteligt materiale i kernevåben.

Vanskeligere stiller det sig med plutonium. Her kan man ikke med en simpel blandingsproces gøre det uanvendeligt. Dertil kommer, at der er tale om store mængder. Det er skønnet, at USA fra sine destruerede kernevåben vil få frigjort ca. 60-90 tons plutonium, mens mængden for Ruslands vedkommende er anslået til ca. 100-125 tons. Andre kernevåbenlandes plutoniumlagre er væsentlig mindre, Frankrigs ca. 6 t, Storbritanniens ca. 3 t og Kinas ca. 3 t. Til sammenligning tjener, at man kan fremstille et kernevåben med ca. 4-7 kg plutonium.

En mulighed for at sikre mod misbrug af det frigjorte plutonium er at opbevare det i sikre lagre, noget man under alle omstændigheder kommer til at gøre, idet det vil tage tid at iværksætte de alternative muligheder til uskadeliggørelse af plutoniumet. Problemet ved sådanne lagre er dels, at de vil koste økonomiske ressourcer - dem har man mangel på i Rusland - dels at man fra vestlig side er i tvivl om, hvorvidt det russiske system fremover vil være i stand til at sikre, at personer, der har adgang til lagrene, ikke misbruger denne til at sælge eller på anden måde overdrage våbenmaterialer til uønskede lande eller personer.

Den nuværende amerikanske administration synes at foretrække, at det overskydende plutonium blandes med radioaktivt affald og glaspulver, hvorefter det

omsmeltes til glascylindre, som deponeres i geologiske depoter eller dybe borehuller. En sådan fremgangsmåde er utvivlsomt teknisk mulig, men det er tvivlsomt, om den er gennemførlig i praksis i USA. Her har man gennem årene haft og har stadig store politiske problemer med at få accepteret deponier for højaktivt affald. Endvidere vil det stadig være muligt at "grave plutoniumet op". Dette gælder specielt, hvis man indretter deponierne således, at cylindrene igen kan fjernes, hvis der skulle vise sig uventede vanskeligheder med deponierne. Det er netop sådanne deponier, man i USA planlægger at anvende til deponering af udbrændt reaktorbrændsel.

Det har også været på tale at brænde plutoniumet i kraftreaktorer, enten i letvandsreaktorer eller i CANDU-reaktorer. En alternativ metode er at pumpe plutoniumet i form af en opløsning ned i undergrunden. Denne metode har dog endnu ikke været nærmere undersøgt. Andre, mere eksotiske elimineringsmetoder har været nævnt, f.eks. udskydning i det ydre rum, opblanding af meget svage plutoniumopløsninger i verdenshavene og destruktion af kernevåben ved underjordiske kernevåbensprængninger. Det er skønnet, at en underjordisk 50 kiloton eksplosion kan destruere ca. 500 kernevåben.

En række af de vesteuropæiske lande og Japan er tilhængere af, at våbenplutonium benyttes til fremstilling af såkaldt MOX-brændsel (Mixed OXide) til kernekraftværker. I dette består brændselsmaterialet af en blanding af plutoniumdioxid og naturlig urandioxid. Herved opnår man dels at udnytte plutoniumet til energiproduktion, dels at ændre isotopsammensætningen af plutoniumet, således at det er væsentlig mindre egnet til våbenfremstilling. Slutproduktet af denne proces bliver udbrændte brændselelementer, der indeholder det resterende plutonium. Disse kan ligesom almindeligt udbrændt brændsel opbevares i vandbassiner i mange år. Derefter kan man enten deponere brændslet i underjordiske deponier eller oparbejde det i oparbejdningsanlæg og genanvende det indeholdte uran og plutonium. Teknisk set kan denne fremgangsmåde gennemføres med eksisterende teknologi, men den eksisterende produktionskapacitet for MOX-brændsel er meget begrænset. Mindre anlæg til fremstilling af MOX-brændsel findes i Storbritannien, Frankrig og Belgien. Et anlæg i Tyskland er lukket, mens et i Rusland er under opførelse. Endvidere gælder, at fremstilling af MOX-brændsel p.g.a. plutoniumstøvs store giftighed må foregå ved fjernbetjening i lukkede rum med kontrolleret atmosfære og derfor er meget kostbar, væsentlig dyrere end fremstilling af uranbrændsel.

Derimod er der ikke mangel på kernekraftkapacitet til at forbruge lagrene af våbenplutonium. De nuværende letvandsreaktorer kan uden større ændringer køres med brændselsladninger, der indeholder en tredjedel MOX-brændsel. Et 1000 MWe kernekraftværk med en sådan ladning vil pr. år omdanne ca. et halvt ton våbenplutonium til udbrændt brændsel. I Vesteuropa er der letvandsreaktorer med en kapacitet på godt 100.000 MWe, i USA er kapaciteten næsten den samme og i Japan er den knap 40.000 MWe. Brugte man en tredjedel MOX-brændsel i alle disse reaktorer, ville lagrene af våbenplutonium blive elimineret på et par år.

I Rusland synes man at foretrække oplagring af våbenplutoniumet til senere brug som brændsel i hurtige formeringsreaktorer. Dette giver den optimale udnyttelse af plutoniumet ud fra et energisynspunkt. Men da hurtige formeringsreaktorer endnu ikke er økonomisk konkurrencedygtige, og da der som følge heraf kun findes få af dem, betyder brugen af denne metode, at våbenplutoniumet må opbevares i mange år, før det kan udnyttes.

MOX-metoden har den fordel, at plutoniumet efter bestrålingen i reaktorer opbevares på en form, der p.g.a. det bestrålede brændsels høje radioaktivitet ikke er let tilgængelig, men det kan på den anden side senere udvindes og om ønsket anvendes i hurtige formeringsreaktorer.

Et ofte debatteret emne er anvendeligheden af kraftreaktorplutonium til kernevå-

ben. Ingen kernevåbenmagter har anvendt plutonium fra dagens kraftreaktorer til deres kernevåben. De har alle anvendt våbenplutonium, der indeholder mere end ca. 95% plutonium-239. USA har dog gennemført en enkelt, vellykket forsøgs-sprængning med kraftreaktorplutonium fra Storbritannien, som formentlig indeholdt 85-90% plutonium-239. Kraftreaktorplutonium fra letvandsreaktorer, som i dag er den dominerende type, indeholder imidlertid ca. 55-60% plutonium-239. Det resterende plutonium udgøres af andre plutoniumisotoper, Pu-238, Pu-240, Pu-241 og Pu-242. Tilstedeværelsen af disse betyder øget radioaktivitet, ikke mindst neutronudsendelse og øget varmeudvikling i plutoniumet. Alle disse forhold vanskeliggør brug af kraftreaktorplutonium til kernevåben. Der er ikke noget i vejen for at starte en kædereaktion i en tilstrækkelig stor mængde kraftreaktorplutonium, men et våben fremstillet af dette plutonium vil have en væsentlig mindre og mere usikker sprængkraft, hvis det overhovedet vil fungere. Hvor meget sprængkraften formindskes, afhænger af, hvor stor erfaring bombekonstruktøren sidder inde med. Det er ikke uden grund, at kernevåbenmagterne anvender våbenplutonium til deres kernevåben.

Det skal nævnes, at konstruktionen af plutoniumvåben udover fremskaffelsen af plutonium kræver løsning af en række tekniske problemer, f.eks. fremstilling af egnede plutoniumlegeringer, sammenpresning af plutoniumdelene ved hjælp af retningssprængladninger og start af kædereaktionen ved en puls af neutroner, når sammenpresningen er på sit maksimum.

Title and authors(s)**International Nuclear Power Status 1994 (in Danish)****Edited by C.F. Højerup, B. Majborn and P.L. Ølgaard**

ISBN**87-550-2062-3****ISSN****0106-2840**

Dept. or group**Nuclear Safety Research****Date****February 1995**

Groups own reg. number(s)**Project/contract no.(s)**

Pages**52****Tables****2****Illustrations****7****References**

Abstract (Max. 2000 characters)

This report is the first in a planned series of annual reports covering the international development in the field of nuclear power.

The report deals with:

- statistical information on the electricity produced by nuclear power plants
- major safety-related incidents in 1994
- the development in Sweden, Eastern Europe, and the rest of the world
- the trends of development of a number of reactor types
- the trends of development in the fuel cycle.

Descriptors INIS/EDB

AFRICA; ASIA; AUSTRALIA; BWR TYPE REACTORS; EASTERN EUROPE; FAST REACTORS; FORECASTING; HEAVY WATER MODERATED REACTORS; INTERNATIONAL COOPERATION; NORTH AMERICA; NUCLEAR POWER PLANTS; PLANNING; PWR TYPE REACTORS; RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT; REACTOR SAFETY; REPROCESSING; REVIEWS; RUSSIAN FEDERATION; SOUTH AMERICA; SWEDEN; WWER TYPE REACTORS

Available on request from Risø Library, Risø National Laboratory
(Risø Bibliotek, Forskningscenter Risø), P.O. Box 49,
DK-4000 Roskilde, Denmark
Telephone (+45) 46 77 46 77, ext. 4004/4005
Telex 43 116 · Telefax (+45) 46 75 56 27

Målsætning

Risø skal tilføre samfund og industri nye udviklingsmuligheder inden for de tre hovedområder:

- *Energiteknologi og -planlægning*
- *Miljøaspekter af energi-, industri- og planteproduktion*
- *Materialer og måleteknikker til industrielle formål*

Risø skal desuden rådgive myndighederne i nukleare spørgsmål.

Forskningsprofil

Risøs forskning er strategisk, dvs. at den er langsigtet og skaber viden på områder, hvor der er et samfundsmæssigt behov. Forskningen sker inden for 10 programområder:

- *Forbrænding og forgasning*
- *Vindenergi*
- *Fremtidig energiteknologi*
- *Energiplanlægning*
- *Miljøaspekter ved energi- og industriproduktion*
- *Miljøaspekter ved planteavl*
- *Nuklear sikkerhed og strålingsbeskyttelse*
- *Materialer med særlige fysiske og kemiske egenskaber*
- *Strukturelle materialer*
- *Optisk måleteknik og informationsbehandling*

Overførsel af viden

Risøs forskningsresultater overføres til industri og myndigheder gennem:

- *Samarbejde om forskning*
- *Samarbejde i F&U konsortier*
- *F&U-klubber og forskerudveksling*
- *Center for Avanceret Teknologi*
- *Patent- og licensvirksomhed*

Til den videnskabelige verden gennem:

- *Publikationsvirksomhed*
- *Netværkssamarbejde*
- *Ph.d.- og post doc.-uddannelse*

Risø-R-802(DA)
ISBN 87-550-2062-3
ISSN 0106-2840

Rekvireres fra
Risø Bibliotek
Forskningscenter Risø
 Postboks 49, 4000 Roskilde
 Telefon 46 77 46 77, lokal 4004/4005
 Telex 43116, Telefax 46 75 56 27

Nøgletal

Risø har over 900 ansatte, heraf mere end 300 forskere og 80 ph.d.- og post doc.-studerende. Risøs budget for 1995 er på 476 millioner kroner, hvoraf 45 procent er indtægter fra programforskning og kontraktvirksomhed, mens resten dækkes af finanslovsbevillingen.